



ACADEMIA MILITAR

Otimização de rotas na Guarda Nacional Republicana: sua aplicação a Destacamento Territorial

Autor: Aspirante de Administração da GNR Abel José Resende Aguiar de Almeida

Orientador: Capitão de Administração Militar Hélio Corguinho Fernandes

Coorientador: Professor Doutor Sérgio dos Santos Barreto

Mestrado Integrado em Administração da Guarda Nacional Republicana

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, setembro de 2017



ACADEMIA MILITAR

Otimização de rotas na Guarda Nacional Republicana: sua aplicação a Destacamento Territorial

Autor: Aspirante de Administração da GNR Abel José Resende Aguiar de Almeida

Orientador: Capitão de Administração Militar Hélio Corguinho Fernandes

Coorientador: Professor Doutor Sérgio dos Santos Barreto

Mestrado Integrado em Administração da Guarda Nacional Republicana

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, setembro de 2017

EPÍGRAFE

“The task is ...not so much to see what no one has yet seen; but to think what nobody has yet thought, about what which everybody sees.”

Erwin Schrödinger (1887-1961), Austrian physicist, in *Problems of Life* (Bertalanffy, 1952), citado em Kaplan (2001).

DEDICATÓRIA

Por todos os momentos contigo vividos e nunca esquecidos.

A ti, PAI.

AGRADECIMENTOS

Após finalizado o presente trabalho de investigação, considero-me uma pessoa muito grata para com todos aqueles que, de uma forma direta e/ou indireta, contribuíram para a realização deste Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicado (RCFTIA). Todas as páginas expostas representam inúmeras horas de trabalho, esforço e dedicação, as quais contêm contributos indispensáveis à sua realização.

Não por ordem de relevância, mas pelas palavras manifestadas, expresso publicamente o meu reconhecimento pessoal e um agradecimento muito especial a todos sem exceção, pois considero a gratidão como um grande tesouro da humildade.

Ao meu Orientador, Capitão de Administração Militar Hélio Corguinho Fernandes, agradeço por toda a dedicação, compreensão e rigor demonstrados e por todo o tempo despendido para aconselhamento e orientação. Considero todo o seu apoio um pilar fundamental nesta investigação.

Ao meu Coorientador, Professor Doutor Sérgio dos Santos Barreto, como uma pessoa de muita estima e respeito, ao qual muito agradeço por toda a disponibilidade, empenho e paciência revelados e por toda a consideração, entrega e zelo que demonstrou durante a evolução do trabalho. A sua transmissão de conhecimento e a sua experiência foi, sem dúvida, um contributo preponderante.

Uma palavra de muito apreço ao Tenente de Infantaria Bruno Marques, que sempre demonstrou disponibilidade e prontidão para fornecer dados e informações basilares a esta investigação. Toda a receptividade e prontidão reveladas são dignas de louvar e agradecer.

Aos Comandantes (Cmdts) dos Postos Territoriais (PTers) de Arouca, Castelo de Paiva, Cesar, Cucujães, Oliveira de Azeméis (OAz) e Vale de Cambra, quero deixar uma palavra de muito respeito e consideração por todo o trabalho desenvolvido no dispositivo territorial. Agradeço por toda a disponibilidade que demonstraram, não só nas entrevistas realizadas, mas também no fornecimento de demais dados relevantes para este trabalho.

Ao Doutor Rui Borges, agradeço a sua amabilidade no esclarecimento de dúvidas e por todas as alterações efetuadas relativamente ao *Location Routing Exploration (LORE®)*, no sentido de tornar a ferramenta mais capacitada para encontrar as soluções adequadas.

Ao Tenente-Coronel Jordão e Major Mira da Academia Militar, um grande bem-haja por toda a ajuda e disponibilidade prestadas e por todos os conselhos e recomendações dados, os quais considero contributos valiosos para esta investigação.

Ao Tenente-Coronel Nunes, ao Tenente Augusto e à Sr.^a Engenheira Sónia Alexandre da Direção de Comunicações e Sistemas de Informação (DCSI), um agradecimento especial por toda a informação cedida, constituindo um reforço bastante positivo e uma mais-valia para o trabalho.

Ao Tenente-Coronel Carvalho e ao Capitão Nogueira, agradeço todas as indicações e alertas dados ao longo desta investigação e todo o apoio fornecido por ambos.

Não posso deixar de agradecer toda a disponibilidade demonstradas por parte do Cabo-Chefe de Cavalaria Alves, Cabo de Infantaria Costa e pelos condutores da Escola da Guarda por todo o apoio logístico recorrentemente prestado.

Uma palavra de agradecimento ao Capitão de Administração da Guarda Nacional Republicana (GNR) Pedro Marques, por toda a ajuda prestada e pelo incansável apoio na recolha de dados importantes para esta investigação.

À Ana Silva, agradeço todas as indicações fornecidas e todas as dúvidas esclarecidas relativamente ao trabalho para melhor complemento, correção e aprumo do mesmo.

A todos os meus camaradas de curso, particularmente ao curso de Administração Militar e XXII Curso de Oficiais da GNR, em especial, aos meus amigos e camaradas de Administração, André Vieira e André Campos, sou grato por toda a amizade, auxílio e compreensão que demonstraram ao longo deste percurso.

De forma muito carinhosa, agradeço à minha mãe por todo o seu amor, bem-querer, presença e pela disponibilidade e apoio incondicionais. À minha irmã gémea, do fundo do coração, sinto-me grato por toda a compreensão, ajuda e sinceridade demonstradas e ainda pelo sentimento de partilha que nos é comum. Na família, de facto, encontrei forças inexcedíveis para suplantar as dificuldades e vicissitudes encontradas.

De coração cheio, dedico uma palavra de grande amor à Teresa, pela sua ternura, doçura, delicadeza e humildade: características que permanecem desde o dia em que a conheci. Uma pessoa muito próxima e humana que, continuamente, me deu força e coragem para cumprir mais esta nobre missão.

O caminho faz-se caminhando e esta minha obra, é uma obra de todos vós.

A TODOS o meu profundo e mais sincero agradecimento,

Abel Almeida

RESUMO

O Trabalho de Investigação Aplicada elaborado intitula-se: “*Otimização de rotas na Guarda Nacional Republicana: sua aplicação a Destacamento Territorial*”. Neste sentido, pretende-se analisar as situações em que se possa efetivar uma otimização de rotas e, paralelamente, construir rotas eficientes, estudando a aplicabilidade de ferramentas que auxiliam as tomadas de decisão.

Esta investigação assenta no método hipotético-dedutivo e fundamenta-se nas fases de estudo em Investigação Operacional referidas por Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013), tendo em vista a verificação de hipóteses, a resposta a perguntas derivadas e concluindo com a resposta à pergunta de partida.

Neste trabalho são abordados os temas de otimização de rotas e patrulhamento de um ponto de vista teórico, apresentando-se, de seguida, a metodologia e procedimentos utilizados e, ainda, a apresentação, análise e discussão de resultados. Por fim, são expostas as conclusões inferidas, tecendo-se recomendações para investigações futuras.

Finalizada a investigação, observou-se que o modelo de otimização construído revela grandes vantagens na redução de quilómetros percorridos e de tempo despendido para planeamento, através de ferramentas que representam restrições reais, sendo as suas *interfaces* bastante intuitivas. Assim sendo, este permite a otimização de um processo comumente extensível a todo o dispositivo territorial, minimizando custos e não inviabilizando um policiamento de proximidade, o alcance a toda a população e o aumento do sentimento de segurança. Deste modo, conclui-se que o modelo contribui de forma significativa para a obtenção de benefícios operacionais e ganhos de eficiência.

No fundo, este trabalho também pretende mostrar o quão importante é a Investigação Operacional na otimização de procedimentos, na melhoria das tomadas de decisão e na oportunidade de tornar o trabalho da Guarda Nacional Republicana mais económico, eficiente e eficaz.

Palavras-chave: Otimização de rotas; patrulhamento policial; modelo de otimização; tomada de decisão; redução de custos.

ABSTRACT

The research applied prepared is entitled: “Route Optimization in National Republican Guard: its application to Territorial Detachment.” In this sense, it is intended to analyze the situations in which a route optimization can be applied and, in parallel, to construct efficient routes by studying the tools applicability that aid to decision making.

This research is based on the hypothetical-deductive method and is based on the study phases in operational research referred by Taha (2008) and Hillier & Lieberman (2013), to test hypotheses, answer to the derived questions and conclude with the answer to the initial question.

In this work, the topics of route optimization and patrolling are approached from a theoretical point of view, presenting then the methodology and procedures used and the presentation, analysis and discussion of results. Finally inferred conclusions are presented and recommendations are expressed for future investigations.

Completed the investigation, it was observed that the optimization model built shows great advantages in reducing kilometers traveled and time spent for planning, using tools that represent real constraints with very intuitive interfaces. Therefore, this allows the optimization of a process commonly extended to all territorial device, minimizing costs and allowing a proximity patrolling that involves the entire population and increases sense of security. In this way, it is concluded that the model contributes significantly to the achievement of operational benefits and efficiency gains.

This paper also aims to show how important it is operational research on optimization of procedures, improving decision making and the opportunity to make Republican National Guard work more economic, efficient and effective.

Keywords: Route optimization; police patrol; optimization model; decision making; cost reduction.

ÍNDICE GERAL

EPÍGRAFE	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS	xii
LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xvi
INTRODUÇÃO	1
PARTE I – ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	4
CAPÍTULO 1 – OTIMIZAÇÃO DE ROTAS.....	4
1.1. Introdução	4
1.2. O problema de otimização de rotas.....	5
1.2.1. <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	5
1.2.2. <i>Traveling Salesman Problem</i> (TSP)	7
1.3. Estudos policiais: do problema à solução	8
1.3.1. Modelos primários	8
1.3.2. Novas abordagens.....	11
1.3.3. Recursos e <i>hostspots</i> : condicionalismos na definição de rotas	11
1.3.4. Estratégias de planeamento e otimização	15
1.4. Síntese	20

CAPÍTULO 2 – PATRULHAMENTO	21
2.1. Introdução	21
2.2. Enquadramento Normativo	21
2.3. Definição e classificação.....	22
2.4. Patrulha	23
2.5. Giro	24
2.6. Síntese.....	25
PARTE II – PRÁTICA	26
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	26
3.1. Introdução	26
3.2. Modelo de análise	26
3.3. Método de abordagem da investigação.....	27
3.4. Técnicas, procedimentos e meios utilizados.....	28
3.4.1. Recolha de dados	28
3.4.2. Tratamento de dados.....	29
3.5. Local e data da pesquisa e recolha de dados.....	29
3.6. Aplicações informáticas utilizadas	30
3.7. Síntese.....	30
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	32
4.1. Introdução	32
4.2. Aplicabilidade da otimização de rotas no Destacamento Territorial de Oliveira de Azeméis	32
4.3. Fases da Investigação.....	34
4.3.1. Definição do problema e recolha de dados.....	34
4.3.2. Formulação do modelo matemático	34
4.3.3. Derivação de soluções com base no problema	38
4.3.4. Teste ao modelo.....	38

4.3.4.1.	Teste preliminar.....	39
4.3.4.2.	Heurística de Clarke e Wright.....	39
4.3.4.3.	<i>OptiMap</i>	40
4.3.4.4.	<i>LORE</i> ®	40
4.3.4.5.	<i>ArcMap</i> ®: Extensão <i>Network Analyst</i>	41
4.3.5.	Preparação de aplicação do modelo.....	43
4.3.6.	Implementação.....	43
4.4.	Análise e discussão de resultados	43
4.5.	Síntese.....	51
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		52
5.1.	Introdução	52
5.2.	Verificação das hipóteses.....	52
5.3.	Resposta às perguntas derivadas da investigação	53
5.4.	Resposta à pergunta de partida da investigação.....	53
5.5.	Confirmação dos objetivos de investigação.....	54
5.6.	Dificuldades e limitações da investigação	54
5.7.	Recomendações e investigações futuras	54
BIBLIOGRAFIA		56
APÊNDICES		I
ANEXOS		LXXII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 – Esquema dos vários elementos constituintes do modelo construído	36
Figura n.º 2 – Ligação de todos os dados do problema em ambiente <i>ArcCatalog</i>	42
Figura n.º 3 – Estrutura do TIA	II
Figura n.º 4 – Estrutura da investigação	VI
Figura n.º 5 – Níveis de abstração no desenvolvimento do modelo	IX
Figura n.º 6 – Fases de um estudo de IO segundo Hillier e Lieberman	X
Figura n.º 7 – Fases de um estudo de IO segundo Taha	X
Figura n.º 8 – Arquiteturas fundamentais de um SI	XXV
Figura n.º 9 – Alinhamento entre os valores institucionais da Guarda, as Linhas de Orientação Estratégicas e os Objetivos Estratégicos das TSI, no Horizonte 2015-2020	XXVI
Figura n.º 10 – Pirâmide DIKW da atividade futura da GNR	XXVII
Figura n.º 11 – Área do DTer de OAz	XXX
Figura n.º 12 – Limites das áreas do CTer de Aveiro	XXX
Figura n.º 13 – Diferença absoluta da criminalidade registada no DTer de OAz (2017-2016)	XXXI
Figura n.º 14 – Frequência relativa da criminalidade registada no DTer de OAz (2017-2016)	XXXI
Figura n.º 15 – <i>Hotspots</i> registados em Portugal Continental	XXXII
Figura n.º 16 – <i>Hotspots</i> registados no DTer de OAz	XXXII
Figura n.º 17 – Projeto GeoMAI	XXXIII
Figura n.º 18 – Aplicação da fórmula e respetivo resultado	XXXVI
Figura n.º 19 – Exemplo de aplicação da heurística de CW	XXXVII
Figura n.º 20 – <i>Interface</i> do <i>OptiMap</i>	XXXIX
Figura n.º 21 – Arquitetura DST e principais componentes	XL
Figura n.º 22 – Aspeto geral da GUI com as quatro diferentes áreas	XLII
Figura n.º 23 – Processo de localização de soluções, fluxo de informações e estrutura de dados correspondentes	XLIII

Figura n.º 24 – Layout em ambiente <i>ArcMap</i> ®	XLIV
Figura n.º 25 – Teste preliminar em Suplemento <i>Solver</i> (5 pontos).....	XLVII
Figura n.º 26 – Solução gerada em <i>Solver</i> (5 pontos).....	XLVII
Figura n.º 27 – União de pontos gerada com a camada Matriz de Custo OD (5 pontos)	XLVIII
Figura n.º 28 – Matriz de Custo OD (5 pontos).....	XLVIII
Figura n.º 29 – Solução gerada em <i>Microsoft Office Excel</i> (5 pontos)	L
Figura n.º 30 – União de pontos gerada com a camada Matriz de Custo OD (10 pontos)....	L
Figura n.º 31 – Matriz de Custo OD (10 pontos).....	LI
Figura n.º 32 – Solução gerada em <i>Microsoft Office Excel</i> (10 pontos)	LIV
Figura n.º 33 – Solução gerada em <i>OptiMap</i> (5 pontos)	LIV
Figura n.º 34 – Solução gerada em <i>OptiMap</i> (10 pontos)	LV
Figura n.º 35 – Escolha do objetivo, modelo e algoritmo	LV
Figura n.º 36 – Solução gerada em <i>LORE</i> ® (5 pontos).....	LVI
Figura n.º 37 – Solução gerada em <i>LORE</i> ® (10 pontos).....	LVI
Figura n.º 38 – Rede viária da área de responsabilidade do DTer de OAz	LVII
Figura n.º 39 – Introdução e colocação de dados na camada <i>Route</i> (5 pontos).....	LVII
Figura n.º 40 – Solução gerada na camada <i>Route</i> (5 pontos)	LVIII
Figura n.º 41 – Solução gerada na camada <i>Route</i> (10 pontos)	LVIII
Figura n.º 42 – Introdução e colocação de dados na camada VRP (5 pontos)	LIX
Figura n.º 43 – Solução gerada na camada VRP (5 pontos).....	LIX
Figura n.º 44 – Solução gerada na camada VRP (10 pontos).....	LX
Figura n.º 45 – Solução gerada após restrição de quilómetros	LXII
Figura n.º 46 – Diagrama de Voronoi aplicado à área de responsabilidade do DTer de OAz	LXIV
Figura n.º 47 – Solução 1 gerada em <i>LORE</i> ® (252 pontos).....	LXVI
Figura n.º 48 – Solução 2 gerada em <i>LORE</i> ® (252 pontos).....	LXVIII
Figura n.º 49 – Solução gerada em <i>ArcMap</i> ® (252 pontos).....	LXX

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela n.º 1 – Resultados finais de cada cenário	44
Tabela n.º 2 – Avaliação geral de cada cenário	45
Tabela n.º 3 – Revisão sistemática da literatura sobre o problema de rotas de patrulha	III
Tabela n.º 4 – Caracterização dos Entrevistados	VII
Tabela n.º 5 – Caracterização demográfica	XVII
Tabela n.º 6 – Efetivo do DTer de OAz.....	XVIII
Tabela n.º 7 – Patrulhamentos 2016	XVIII
Tabela n.º 8 – Estado das Viaturas e Dotação anual de combustível 2017	XIX
Tabela n.º 9 – Pontos sensíveis por PTer.....	XXI
Tabela n.º 10 – Os SI da Componente Operacional da GNR	XXVII
Tabela n.º 11 – Distâncias entre pontos e PTer (5 pontos).....	XLIX
Tabela n.º 12 – Cálculo de <i>Savings</i> e respetiva rota gerada (5 pontos).....	XLIX
Tabela n.º 13 – Distâncias entre pontos e PTer (10 pontos).....	LII
Tabela n.º 14 – Cálculo de <i>Savings</i> e respetiva rota gerada (10 pontos).....	LIII
Tabela n.º 15 – Cobertura de <i>hotspots</i> em <i>LORE</i> ®	LXVII
Tabela n.º 16 – Cobertura de <i>hotspots</i> em <i>ArcMap</i> ®	LXXI
Tabela n.º 17 – Métodos de solução de VRP	LXXIII

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICES	I
APÊNDICE A – ESTRUTURA DO TIA.....	II
APÊNDICE B – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE O PROBLEMA DE ROTAS DE PATRULHA	III
APÊNDICE C – ESTRUTURA DA INVESTIGAÇÃO.....	VI
APÊNDICE D – CARACTERIZAÇÃO DOS ENTREVISTADOS	VII
APÊNDICE E – INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL.....	VIII
E.1. Da origem ao modelo científico.....	VIII
E.2. Fases de um estudo de Investigação Operacional	IX
E.2.1. Definição do problema e recolha de dados	XI
E.2.2. Formulação do modelo matemático.....	XI
E.2.3. Derivação de soluções com base no modelo.....	XII
E.2.4. Testes ao modelo	XIII
E.2.5. Preparação para aplicar o modelo	XIV
E.2.6. Implementação.....	XIV
APÊNDICE F – DESTACAMENTO TERRITORIAL DE OLIVEIRA DE AZEMÉIS	XVI
F.1. Introdução.....	XVI
F.2. Enquadramento.....	XVI
F.3. Criminalidade e pontos sensíveis	XIX
F.4. Planeamento e elaboração de giros	XXI
F.5. Dificuldades e limitações	XXII
APÊNDICE G – INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DA GNR.....	XXIV

G.1. Introdução	XXIV
G.2. Alinhamento estratégico	XXIV
G.3. A importância do SIIOP – G	XXVI
G.4. Das dificuldades aos desafios futuros.....	XXVIII
G.5. A chave da mudança.....	XXXIV
APÊNDICE H – FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO	XXXV
H.1. Introdução	XXXV
H.2. Heurística de Clarke e Wright	XXXV
H.3. <i>OptiMap</i>	XXXVIII
H.4. <i>LORE</i> ®	XXXIX
H.4.1. Estrutura de dados e problemas suportados.....	XL
H.4.2. <i>Graphical User Interface</i>	XLI
H.5. <i>ArcMap</i> ®: extensão <i>Network Analyst</i>	XLIII
APÊNDICE I – TESTE AO MODELO: PROCEDIMENTOS EXECUTADOS	XLVII
I.1. Teste preliminar.....	XLVII
I.2. Heurística de Clarke e Wright.....	XLVIII
I.3. <i>OptiMap</i>	LIV
I.4. <i>LORE</i> ®	LV
I.5. <i>ArcMap</i> ®	LVII
APÊNDICE J – ANÁLISES SUPLEMENTARES.....	LXI
J.1. A restrição de quilómetros percorridos no planeamento dos giros.....	LXI
J.2. Diagrama de Voronoi aplicado à área de responsabilidade do Destacamento Territorial de Oliveira de Azeméis	LXIII
J.2.1. Diagrama de Voronoi.....	LXIII
J.2.2. Aplicabilidade	LXIII
J.3. Localização de <i>hotspots</i>	LXV
J.3.1. <i>LORE</i> ®	LXV

J.3.1.1. Postos Territoriais instalados	LXV
J.3.1.2. Postos Territoriais não instalados.....	LXVII
J.3.2. <i>ArcMap</i> [®]	LXIX
J.3.3. Conclusão.....	LXXI
ANEXOS	LXXII
ANEXO A – MÉTODOS DE SOLUÇÃO DE VRP.....	LXXIII

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

3 E's	–	Economia, eficiência e eficácia
ACE	–	<i>Approximate cross entropy</i>
ACO	–	<i>Ant Colony Optimization</i>
AdMil	–	Administração Militar
AMLPS	–	<i>Algebraic modeling language processor systems</i>
ANPC	–	Autoridade Nacional de Proteção Civil
APA	–	<i>American Psychological Association</i>
AR	–	Assembleia da República
BAPS	–	<i>Bayesian Ant Patrolling Strategy</i>
BJA	–	<i>Bureau of Justice Assistance</i>
BPP	–	<i>Bin Packing Problem</i>
CA	–	Centro de Ação
CE	–	<i>Cross Entropy</i>
Cfr.	–	Conferir
CiGeoE	–	Centro de Informação Geoespacial do Exército
CLRP	–	<i>Capacitated Location Routing Problem</i>
Cmdt	–	Comandante
Cmdts	–	Comandantes
COMETPOR	–	Comando Metropolitano do Porto
COP	–	<i>Common Operational Picture</i>
CTer	–	Comando Territorial
CVRP	–	<i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i>
CW	–	Clarke & Wright
DCSI	–	Direção de Comunicações e Sistemas de Informação
DD	–	Coordenadas Decimais
DDACTS	–	<i>Data-Driven Approaches to Crime and Traffic Safety</i>
DSS	–	<i>Decision Support System</i>
DST	–	<i>Decision-support Tool</i>

- DTer – Destacamento Territorial
e.g. – *Por exemplo (Exempli gratia)*
EAs – *Evolutionary Algorithms*
ESRI – *Environmental Systems Research Institute*
et al. – Abreviatura de *et alii*; e outros
EUA – Estados Unidos da América
FLP – *Facility Location Problem*
GB – Gigabyte
GIS – *Geographic Information System*
GNR – Guarda Nacional Republicana
GPS – *Global Position System*
GT-TSI – Grupo de Trabalho para as Tecnologias de Sistemas de Informação
GUI – *Graphical User Interface*
IBM – *International Business Machines*
IGI – *Idea Group, Inc.*
IO – Investigação Operacional
ISCAA – Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro
Km – Quilómetros
LCSP – *Location Set Covering Problem*
LORE – *Location Routing Exploration*
LRP – *Location Routing Problem*
MAI – Ministério da Administração Interna
MAP – *Multi-agent Patrolling*
MAS – *Multi-agent System*
MATLAB – *MATrix LABoratory*
MCD – *Multiple Car Dispatch*
MCLP – *Maximal Covering Location Problem*
MCPRP – *Maximum Covering Patrol Routing Problem*
MDVRP – *Multiple Depot Vehicle Routing Problem*
MIT – *Massachusetts Institute of Technology*
MPS – *Mathematical Programming System*
m-PSP – *m-Peripatetic Salesman Problem*
MTMPDP – *Many-to-many Pickup and Delivery Problem*

- MTSP – *Multiple Traveling Salesman Problem*
- NCS – Núcleo Comércio Seguro
- NEP – Normas de Execução Permanente
- NES – Núcleos Escola Segura
- NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration*
- NIC – Núcleo de Investigação Criminal
- NIJ – *National Institute of Justice*
- NIS – Núcleo Idosos em Segurança
- NP – *Nondeterministic polynomial time*
- NPA – Núcleo de Proteção Ambiental
- OAz – Oliveira de Azeméis
- OBDC – *Optimization-based Decision Support Models*
- OD – Origem-Destino
- ODPR – *Optimal design of patrol routes*
- OE – Objetivo Específico
- OG – Ordens à Guarda
- OP – *Orienteering Problem*
- OPL – *Optimization Programming Language*
- OR – *Operations Research*
- OR/MS – *Operations Research/Management Science*
- p. – Página
- PAGNR – Plano de Atividades da GNR
- PCAM – *Patrol Car Allocation Model*
- PCV – Problema do Caixeiro Viajante
- PD – Pergunta Derivada
- PLA – Problema de Localização-Afetação
- PLD – Problemas de Localização-Distribuição
- PLI – Programação Linear Inteira
- pp. – Páginas
- PPAC – *Police Patrol Area Covering*
- PSC – *Patrol Service Center*
- PSP – Polícia de Segurança Pública
- PTer – Posto Territorial

PTers	–	Postos Territoriais
PVRP	–	<i>Periodic Vehicle Routing Problem</i>
RAM	–	<i>Random Access Memory</i>
RCFTIA	–	Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada
RFID	–	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
RGSGNR	–	Regulamento Geral do Serviço da Guarda Nacional Republicana
RL	–	<i>Reinforcement Learning</i>
RPE	–	Repartição de Programas Especiais
RPV	–	<i>Routine Patrol Vehicle</i>
SDVRP	–	<i>Split Delivery Vehicle Routing Problem</i>
SEPNA	–	Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente
SG2S	–	Sistema de Gestão de Salas de Situação
SGMAI	–	Secretaria-Geral do Ministério da Administração Interna
SGO	–	Sistema de Gestão Operacional
SGR	–	Sistema de Gestão Rodoviária
SGS	–	Sistema de Gestão SEPNA
SI	–	Sistemas de Informação
SIG	–	Sistema de Informação Geográfica
SIIOP	–	Sistema Integrado de Informações Operacionais Policiais
SITREP	–	Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal
SNPC	–	<i>Spanish National Police Corps</i>
SPE	–	Secção de Programas Especiais
SSit	–	Salas de Situação
STIE	–	Secção de Transmissões, Informática e Eletrónica
SVRP	–	<i>Stochastic Vehicle Routing Problem</i>
TIA	–	Trabalho de Investigação Aplicada
TOPTW	–	<i>Orienteering problem with time windows</i>
TPO	–	Tirocínio para Oficiais
TSP	–	<i>Traveling Salesman Problem</i>
TSPTW	–	<i>Traveling salesman problem with time windows</i>
UPS	–	<i>United Parcel Service</i>
VRP	–	<i>Vehicle Routing Problem</i>
VRPB	–	<i>Vehicle Routing Problem with Backhaul</i>

- VRPTW – *Problem with Time Windows*
- WFS – *Web Feature Service*
- WMS – *Web Map Services*
- XAML – *Extensible Application Markup Language*
- XML – *Extensible Markup Language*
- XP – *Extreme programming*
- ZA – *Zona de Ação*

INTRODUÇÃO

De acordo com a estrutura curricular respeitante ao ciclo de estudos do Mestrado Integrado em Administração da Guarda Nacional Republicana (GNR)¹, é apresentado no último ano da Academia Militar um Trabalho de Investigação Aplicada (TIA). Este RCFTIA intitulado “Otimização de rotas na Guarda Nacional Republicana: sua aplicação a Destacamento Territorial” constitui-se como essencial para o aproveitamento no Tirocínio Para Oficiais (TPO) e uma exigência necessária à obtenção do grau de Mestre.

Face às exigências derivadas da especialização, de natureza académica, com recurso à atividade de investigação, de inovação ou de aprofundamento de aptidões profissionais, os TIA têm como objetivo geral a aplicação de competências adquiridas e o desenvolvimento de capacidades que constituem a base de aplicações originais, em contexto de investigação no domínio da segurança ou defesa, bem como a comunicação das conclusões e os conhecimentos e raciocínios a elas subjacentes, de forma clara e sem ambiguidades (Academia Militar, 2015).

A introdução deve incluir a “apresentação geral do trabalho. Foca normalmente os seguintes aspetos: apresentação do tema, motivação para a escolha e pertinência no âmbito do mestrado em causa. Definição dos objetivos gerais e específicos. Formulação da pergunta de partida. Enunciado da estrutura do trabalho” (Academia Militar, 2016, p. 3). Apresenta ainda “uma perspetiva geral do trabalho, desde a questão de partida da investigação até à descrição dos capítulos da tese” (Sarmiento, 2013, p. 207).

A preocupação com a gestão de rotas é um tema abrangente a muitas áreas da sociedade (logística, comércio, indústria, gestão, defesa, segurança interna) devido, inúmeras vezes, à escassez de recursos que se traduz, cada vez mais, num fundamento para a sua otimização.

Para o planeamento de rotas e apoio à tomada de decisão surgem modelos matemáticos flexíveis capazes de encontrar soluções de otimização. Estes, minimizando os

¹ Ver artigo 16.º e n.º 4, do artigo 17.º do Decreto-Lei n.º 37/2008, de 5 de março e a alínea f) do n.º 2 do artigo 1.º da Portaria n.º 1099/2009, de 24 de setembro.

custos de transporte, satisfazem as restrições impostas por cada situação, sendo que a implementação destes modelos pode ser justificada pelas poupanças que geram.

A GNR, cobrindo 94% do território nacional (GNR, 2016b), vê-se confrontada com a necessidade de alargar e fazer notar a sua presença para cumprimento dos deveres institucionais. Assim, no dispositivo territorial, diariamente e em situações específicas, existe a necessidade de planear deslocações de patrulhas. Uma das preocupações do Comandante (Cmdt) passa pela gestão das viaturas, dos efetivos e do *plafond* de combustível, os quais constituem recursos escassos que limitam a atividade operacional.

Regularmente, o exemplo mais paradigmático verifica-se no planeamento dos giros das patrulhas. O Cmdt define um conjunto de pontos de visita pelas quais a patrulha deve passar a fim de executar o policiamento, a resolução de denúncias, a entrega de expediente, entre outras situações. As referidas rotas poderão ter em conta a otimização do tempo, a gestão de combustível e o desgaste da viatura.

Com o intuito de facilitar a tomada de decisão do Cmdt, pretende-se estudar a aplicabilidade de instrumentos para auxiliar o planeamento das suas operações/ações no terreno, nomeadamente, os modelos de otimização de rotas.

A Zona de Ação (ZA) de OAz é bastante extensa e, em comparação, com os demais Destacamentos Territoriais do Comando Territorial (CTer) de Aveiro, comporta a maior área de patrulhamento. Para o âmbito deste trabalho é importante que o investigador conheça amplamente a área em estudo. A escolha de OAz surge com naturalidade dado que o autor é residente na área e por conseguinte possui um conhecimento pormenorizado da sua geografia, das suas especificidades e do Destacamento Territorial (DTER) de OAz.

Após o enquadramento e justificação da investigação, formulou-se a pergunta de partida e, de acordo com Carvalho (2002), a questão principal deve ser analisada sob o aspeto da sua valorização. Para Fortin (2000), uma questão de investigação é uma interrogação explícita relativa a um domínio que se deve explorar com vista a obter novas informações. Assim, a pergunta de partida deste trabalho é: **Podem os modelos de otimização de rotas ser aplicados no DTER de OAz e respetivos PTers com benefícios operacionais e ganhos de eficiência?**

De seguida enumeram-se os objetivos gerais e específicos da investigação. Segundo Carvalho (2002), o objetivo define as linhas de prospetiva a desenvolver que faculte valor acrescentado à situação de partida. De acordo com Marconi e Lakatos (2003), toda a pesquisa deve ter um objetivo determinado para saber o que se vai procurar e o que se pretende

alcançar. Este torna explícito o problema, aumentando os conhecimentos sobre determinado assunto.

De modo a encontrar resposta à pergunta de partida, este TIA tem como objetivo geral: Construção de rotas eficientes ao nível do DTer de OAz e respetivos PTers.

Já os objetivos específicos (OE) apresentam um carácter mais concreto, têm uma função intermediária e instrumental, possibilitando atingir o objetivo geral e ainda aplicá-lo a situações particulares (Marconi & Lakatos, 2003). Para esta investigação formularam-se os seguintes OE:

OE1: Construir rotas de patrulha otimizadas segundo determinados critérios.

OE2: Avaliar a aplicabilidade da otimização de rotas em contexto de gestão diária.

OE3: Determinar de que forma os modelos matemáticos e as heurísticas construídas revelam ser mais vantajosos e acrescentam poupanças.

OE4: Propor uma ferramenta que possa ser operacionalizada no terreno.

Para além da introdução elaborada, segue-se o enquadramento teórico que resulta da revisão da bibliografia. Dá-se a conhecer o “estado da arte”, focando especialmente os principais conceitos, perspetivas teóricas e pesquisas empíricas de referência e relevantes para a problemática em estudo (Academia Militar, 2016). O enquadramento teórico desta investigação encontra-se na Parte I do trabalho, constituído por dois capítulos, nos quais são abordados os temas de otimização de rotas e patrulhamento.

A Parte II incide sobre a implementação prática. Numa fase inicial é dedicada especial atenção à metodologia, recolha de dados, procedimentos de construção e resolução de modelos. Segue-se a resolução computacional e consequente apresentação, análise e discussão de resultados.

Por último, são ostentadas as conclusões através das duas partes anteriormente expostas, confirmando ou refutando as hipóteses elaboradas e tecendo recomendações para investigações futuras.²

² Ver estrutura do TIA no Apêndice A.

PARTE I – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO 1

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

1.1. Introdução

A intenção do processo de revisão da literatura deverá, segundo Bryman (2012), obter as respostas às seguintes questões:

- O que se sabe sobre esta área?
- Que conceitos e teorias são relevantes para esta área?
- Que métodos de investigação e estratégias de pesquisa têm sido empregues nos estudos desta área?
- Existem controvérsias significativas?
- Existem inconsistências nas descobertas ou nos resultados relativos a esta área?
- Existem questões de investigação não respondidas nesta área?

De acordo com Santos et al. (2014, p. 45) “a tarefa da definição do “estado da arte”³ (estado atual do conhecimento) no domínio de um dado tema é um passo importante para que se comece bem a pesquisa ou investigação” e “na fase inicial de um processo de investigação coloca-se, normalmente, a questão de saber selecionar as obras ou trabalhos que constituem o role de documentos para as leituras preliminares” (Santos et al., 2014, p. 46).

Neste capítulo são abordados diversos conceitos relacionados com a otimização de rotas e, ainda, diferentes autores com diferentes abordagens feitas aos problemas de otimização e aos modelos utilizados para a resolução dos mesmos. Numa primeira fase ostenta-se um enquadramento teórico do problema em si e, posteriormente, fruto da diversidade de estudos divulgados sobre esta temática, são elencados artigos publicados,

³ Possibilita “identificar o conhecimento que se detém sobre o tema em estudo e, ao mesmo tempo, evitar trabalho desnecessário ao investigador, particularmente no esforço de busca e de análise de informação, entretanto já desenvolvido por outros autores” (Santos et al., 2014, p. 45).

livros, revistas periódicas ou disponíveis na *internet*. Os mesmos são apresentados por ordem cronológica para encadeamento de noções e de raciocínio e com o intuito de acompanhar a linha de investigação.

1.2. O problema de otimização de rotas

A palavra “otimização” tem um âmbito muito variado e é mencionada em muitas áreas da sociedade⁴ e por inúmeros autores. A palavra surge não só pela necessidade de rentabilizar processos existentes nas organizações, mas também para economizar determinado(s) recurso(s), fruto da escassez dos mesmos ou pelo seu acesso limitado. Com a otimização pretende-se maximizar ou minimizar uma determinada função objetivo, através de restrições que condicionam as variáveis a utilizar. No campo da Investigação Operacional (IO), os modelos de otimização em redes ocupam especial relevo.

A otimização de rotas⁵ tem um vasto espectro de abordagens e áreas de aplicação, destacando-se a logística (recolha e distribuição de alimentos), gestão industrial (localização-distribuição), transportes (recolha de resíduos, gestão de frotas) e prestações de serviços (policiais e de emergência), entre outros.

Estudos iniciais abordavam problemas, alguns deles complexos (*NP-Hard*)⁶, (Cook, 1971; Lenstra & Kan, 1981) levando à criação de taxionomias e classificações (Bodin & Golden, 1981) para o problema em si, o que gerou posteriormente estudos de revisão bibliográfica (Raff, 1983). Desta forma, o conhecimento desta temática foi progredindo, com o aparecimento de novos problemas, novas taxionomias e desenvolvimento de novas soluções.

1.2.1. *Vehicle Routing Problem* (VRP)

As pesquisas teóricas e o desenvolvimento de aplicações práticas acerca do problema de rotas de veículo remonta a 1959 (Dantzing & Ramser, 1959). Mais de meio século depois,

⁴ Como a matemática, engenharia, administração, gestão, logística, economia, transportes, biologia.

⁵ Consideram-se rotas, os arcos que unem os nós (ou nodos) de um grafo orientado, pontos de visita representativos de Centros de Ação (CA), depósitos e clientes. No caso de o grafo não ser orientado, os arcos e nós designam-se de arestas e vértices, respetivamente.

⁶ Na teoria da complexidade computacional, *NP-Hard* (*Non-Deterministic Polynomial time*) representa uma classe de problemas particularmente difíceis de resolver (S. Cook & Cook, 2000), acreditando-se que é pouco provável que venham a existir algoritmos que os resolvam em tempo polinomial dos *inputs*.

ainda é um problema estudado (Laporte, 2009) e que ocupa um lugar central nos problemas de otimização combinatória (Cordeau, Gendreau, Laporte, Potvin, & Semet, 2002).

O “*Vehicle Routing Problem (VRP) can be described as the problem of designing optimal delivery or collection routes from one or several depots to a number of geographically scattered cities or customers, subject to side constraints.*” (Laporte, 1992, p. 345).

O problema é determinado da seguinte forma: a partir de uma dada origem (depósito), vários pontos a visitar (destinos) e vários veículos, tem-se como objetivo encontrar o caminho de menor custo a percorrer por cada veículo, ou seja, a sequência de pontos definidos que cada veículo deve visitar (Carvalho et al., 2010).

São várias as variantes existentes no modelo *VRP* para acomodar situações de vários depósitos (*Multiple Depot Vehicle Routing Problem [MDVRP]*), com capacidades limitadas (*Capacitated Vehicle Routing Problem [CVRP]*), janelas temporais (*Vehicle Routing Problem with Time Windows [VRPTW]*), recolhas e entregas simultâneas (*Many-to-many Pickup and Delivery Problem [MTMPDP]*), partilha da distribuição nos clientes (*Split Delivery Vehicle Routing Problem [SDVRP]*), rotas de veículos com periodicidade (*Periodic Vehicle Routing Problem [PVRP]*), rotas de veículos com lanços de volta (*Vehicle Routing Problem with Backhauls [VRPB]*), problemas com parâmetros aleatórios⁷ (*Stochastic Vehicle Routing Problem [SVRP]*), entre outras⁸ (Carvalho et al., 2010).

Existem numerosos autores e bastante bibliografia que aborda o conceito de *VRP*. De entre os métodos de solução revistos e comparados (Laporte (1992); Cordeau et al. (2002); Toth & Vigo (2002); Roque & Junior (2006); Schopf, Schepke, Silva & Silva (2006); Cordeau, Laporte, Savelsbergh, & Vigo (2007); Golden, Raghavan e Wasil (2008); Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia (2011) e (2013)), destacam-se os métodos exatos (programação linear inteira mista), que permitem a obtenção de soluções ótimas (muitas vezes com custos computacionais proibitivos, dada a dimensão e complexidade dos problemas reais) e, os métodos heurísticos (com soluções muito aproximadas à otimização pretendida e escolhidos pelo facto de revelarem simplicidade, flexibilidade e tempo de processamento computacional reduzido) (Carvalho et al., 2010).⁹

⁷ Tempo, pontos de visita, distância, custo, entre outros.

⁸ Na literatura atual são propostas taxinomias face à abrangência do problema. Entre 2009 e 2013 foram classificados 144 artigos (De Jaegere, Defraeye, & Nieuwenhuyse, 2014) e entre 2009 e junho de 2015, foram classificados 277 (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyse, 2016).

⁹ Ver anexo A.

1.2.2. *Traveling Salesman Problem (TSP)*

O TSP¹⁰ é um problema que foi inicialmente estudado no século XVIII por dois matemáticos: Sir William Rowan Hamilton e Thomas Penyngton Kirkman (Matai, Singh, & Lal, 2010). No âmbito da análise combinatória é dos problemas mais estudado ao longo da segunda metade do século XX (Barreto, 2004).

O objetivo a alcançar com a resolução do TSP¹¹ é o de “encontrar a rota de menor custo¹² que permita a visita a todos os clientes de uma rede, passando uma só vez por cada cliente” (Barreto, 2004, p. 119).

Apesar da sua fácil interpretação, o TSP é um problema *NP-Hard*¹³ (Røpke, 2006), pelo que, os métodos heurísticos são os utilizados para a sua resolução e não métodos exatos (Matai et al., 2010).

O *Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP)*¹⁴ é uma variantes do TSP (Røpke, 2006; Hou & Liu, 2012) aplicando-se a mais do que um veículo, constituindo várias rotas (Campos, 2014). Um VRP é uma instância do MTSP¹⁵, adicionando a restrição da capacidade máxima dos veículos utilizados (Bektas, 2006) e tendo como principal objetivo a redução do custo total da deslocação efetuada (Casal, 2012). As restrições podem ser aplicadas sobre o número de visitas, a distância máxima ou mínima ou qualquer outra restrição (Bektas, 2006). Assim, as formulações e os métodos de solução para a VRP são igualmente válidos e verdadeiros para o MTSP (Bektas, 2006).

¹⁰ Designado de Problema do Caixeiro Viajante (PCV) na literatura portuguesa.

¹¹ PCV – consiste na definição da sequência de pontos (clientes) a visitar numa rede, partindo e regressando ao mesmo ponto (nodo), em que cada ponto só é visitado uma única vez, minimizando os custos totais (*e.g.*: distribuição de correio; recolha de lixo; autocarros). Alguns dos métodos de solução incluem as heurísticas do vizinho mais próximo e heurística *greedy* (Tavares, 2012) (Carvalho et al., 2010).

¹² Assim, “*given a set of cities and the cost of travel (or distance) between each possible pairs, the TSP, is to find the best possible way of visiting all the cities and returning to the starting point that minimize the travel cost (or travel distance)*” (Matai et al., 2010, p. 1).

¹³ O VRP “*is one of the most popular problems in combinatorial optimization, and its study has given rise to several exact and heuristic solution techniques of general applicability. It generalizes the Traveling Salesman Problem (TSP) and is therefore NP-hard.*” (Cordeau et al., 2007, p. 368).

¹⁴ Designado de Problema dos Múltiplos-Caixeiros Viajantes (MPCV) na língua portuguesa.

¹⁵ Se no VRP a capacidade dos veículos fosse infinita estes corresponderiam a instâncias de MTSP no qual poderia ser transformado em TSP através da inserção de cópias do depósito no grafo (tantas quantas o número de rotas menos 1) (Casal, 2012).

1.3. Estudos policiais: do problema à solução

A preocupação com o aumento da insegurança decorrente de acidentes de viação existentes durante a década de ‘60 nos Estados Unidos da América (EUA), bem como dos custos inerentes a crimes praticados, levaram a que o patrulhamento e o reforço policial tivesse uma importância acrescida, realizando-se, posteriormente, estudos sobre esta temática: “*The research on police patrols dates back to the early 1970s*” (Keskin & Parrish, 2010, p. 3).

1.3.1. Modelos primários

Ao longo dos últimos 50 anos surgiram na literatura numerosas publicações acerca da problemática da otimização de rotas e de afetação de patrulhas, com a introdução e/ou melhoria de novos modelos com o objetivo de suprir urgências e necessidades e apoiar a tomada de decisão, face à complexidade de situações decorrentes do serviço diário.

Os primeiros trabalhos preocupavam-se com o atendimento de chamadas para o serviço, principalmente relacionados com o atendimento de crimes. Assim, primeiramente, de uma forma prática, foram usados *queueing models* (Larson (1974); Chaiken & Dormont (1978b)¹⁶; Larson & Mcknew (1982); Green (1984)¹⁷; Birge & Pollock (1989))¹⁸, (Keskin & Parrish, 2010), ocorrendo desenvolvimentos e inovações no modelo primário, com aplicação no “terreno” a diversas cidades dos EUA (Curtin, Hayslett-McCall, & Qiu, 2010).

Neste sentido, com o intuito de melhorar o desempenho na resposta, Carroll & Laurin (1981) abordaram na sua investigação a maximização da quantidade de tempo disponível para os deveres da patrulha¹⁹. Tiveram como restrições o tempo médio atual para responder

¹⁶ Desenvolveram um programa de computador (*Patrol Car Allocation Model [PCAM]*), fruto da inexistência de um programa que tivesse um nível de afetação desejável para colmatar todas as necessidades de patrulhamento tendo em conta o tempo, a geografia e a prioridade dada a cada ocorrência (Chaiken & Dormont, 1978a). Foram publicados *user's manuals* sobre este modelo (1975, 1985), Cfr. respetivamente em: <http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2006/R1786.2.pdf> e <http://www.acove.com/content/dam/rand/pubs/reports/2006/R3087.2.pdf>, disponível em 4 de dezembro de 2016, às 11h29m.

¹⁷ O Modelo (*Multiple car dispatch queueing [MCD]*) foi testado e validado com dados de Nova Iorque (Green & Kolesar, 1989). Os autores concluíram que o “*MCD model is a good although imperfect description of patrol operations in New York and is a potentially useful planning tool for many other urban police departments*” (Green & Kolesar, 1989, p. 127)

¹⁸ Bem como Chaiken, J., e Larson, R. (1972). *Models for allocating urban emergency units*; e Kolesar, P. J., Rider, K. L., Crabill, T. B., e Walker, W. E. (1975). *A Queueing-Linear Programming Approach to Scheduling Police Patrol Cars*. Ver Apêndice B.

¹⁹ Designado no artigo, de patrulhamento repressivo.

a uma chamada e o limite para o número de carros de patrulha. Deste modo, foi desenvolvido um modelo de regressão linear múltipla para prever chamadas e um simulador para prever o desempenho. Os resultados foram razoáveis e indicaram que, possivelmente, um pequeno aumento no tempo de patrulhamento pode ser alcançado através da redefinição dos limites de zona e que a carga de trabalho nas zonas poderia ser consideravelmente mais uniforme.

A pesquisa operacional (*Operations Research* (OR))²⁰, mais tarde enquadrada num conceito mais amplo de *Operations Research/Management Science* (OR/MS)²¹ (Snyder et al., 2014), tem tido uma longa e distinta história de trabalho na preparação e resposta a emergências, tendo-se afirmado a partir dos ataques de 11 de setembro de 2001, com consequente formação do Departamento de Segurança Interna dos EUA (Wright, Liberatore, & Nydick, 2006). A literatura de segurança interna classificada em duas dimensões (Wright et al., 2006) revela oportunidades para pesquisas futuras. Os referidos autores encaixam os estudos elaborados no âmbito da segurança interna dentro do quadro de pesquisa, onde se ilustra a existência da maior parte dos modelos e aplicações de OR na segurança interna. As obras anteriormente referidas de Chaiken e Dormont (1978a), Chaiken e Dormont (1978b), Green (1984), Green e Kolesar (1989) e Chaiken e Larson (1972) ocupam uma posição de relevo na preparação e planeamento de emergências²² (Wright et al., 2006).

Por força da escassez de recursos, nomeadamente, os carros designados para as patrulhas, Sacks (2000) expõe no seu artigo, que a implantação espacial é examinada em relação a quatro critérios: tempo de resposta, equilíbrio da carga de trabalho, frequência de patrulhamento e despachos interdistritais. Na sua pesquisa, os resultados-padrão da teoria das filas (*queuing theory*) são complementadas pela adição de conceitos espaciais para fornecer a base para uma aplicação de computador chamada “*Desktop Hypercube*”. Este *software* permite que os Cmdts “desenhem” as suas patrulhas num mapa (área da sua

²⁰ Definida como “*The discipline of applying mathematical models of complex systems with random variability aimed at developing optimized operational business decisions.*” (IGI Global, sem data-b). As obras de Hillier e Lieberman e de Taha são das mais conhecidas no âmbito do estudo da IO Aplicada. São obras completas e úteis na área dos modelos de otimização aplicada, pois compreenderam desde cedo a importância de explicar com simplicidade, questões matemáticas complexas e, sobretudo, relacionaram os modelos com as suas aplicações, em especial às ciências empresariais.

²¹ Definida como “*An interdisciplinary branch of applied mathematics, engineering and sciences that uses various scientific research-based principles, strategies, and analytical methods including mathematical modeling, statistics and algorithms to improve an organization's ability to enact rational and meaningful management decisions.*” (IGI Global, sem data-a).

²² Os modelos de alocação de serviços de emergência são vulgarmente baseados no algoritmo de caminho mais curto (Dijkstra, 1959). Este algoritmo exato seleciona, num grafo, o caminho de custo entre um determinado vértice (nós) e os restantes elementos presentes nesse grafo. A cada união de vértices são associados custos (comprimento) em que o objetivo é criar uma rota de caminho mais curto (Dijkstra, 1959).

responsabilidade), tendo em vista a avaliação do desempenho de acordo com estes critérios (Sacks, 2000).

Também em 2004, surge uma nova política, anunciada pela *United Parcel Service* (UPS), no sentido de evitar virar à esquerda em cruzamentos. Esta manobra foi considerada um grande obstáculo para a eficiência por existir um elevado desperdício de tempo e combustível, bem como um aumento desproporcional de acidentes. Após 8 anos, a regra de “virar à direita” resultou numa poupança de milhões de litros de combustível e numa redução significativa de emissões poluentes.²³

Em Portugal, surge um estudo em 2004, aplicado ao Centro de Emergência da Polícia de Segurança Pública (PSP), no Comando Metropolitano do Porto (COMETPOR)²⁴, no qual o autor (José, 2004) aborda o Modelo Hipercubo de Filas²⁵ (Larson, 1974), realizando uma análise comparativa entre dados reais do sistema e resultados obtidos pela aplicação do modelo. Através de um estudo exploratório, utiliza o método de observação direta e recorre ao *software MATLAB*^{®26} para apresentar a solução das equações de equilíbrio do Modelo Hipercubo de Filas. Conclui-se que relativamente ao sistema (4 servidores), este encontra-se vazio ou sem chamadas em 25,44% do tempo e totalmente ocupado em 2,28% do tempo. Observou-se que o servidor mais solicitado se encontra ocupado em 13,55% do tempo (José, 2004). Com estes dados, o autor demonstra que o sistema se encontra bem dimensionado, pois existem, raramente, filas de espera e o sistema, em grande parte do tempo, encontra-se no estado de vazio²⁷.

²³ Cfr. <https://priceonomics.com/why-ups-trucks-dont-turn-left>, disponível em 5 de março de 2017, às 22h e 50m. Esta teoria foi testada e verificada posteriormente. Grande parte da literatura analisada é referente à realidade americana, o que permite avançar com outros tipos de estudo como o caso da UPS. Segundo a sua lei, é permitida a viragem à direita mesmo estando o semáforo vermelho e/ou não havendo tráfego na via. O facto de as estradas possuírem poucas curvas, serem perpendiculares entre si e o meio envolvente ser mais urbano e menos rural, inviabiliza, desde logo, uma comparação direta a Portugal (topografia diferente).

²⁴ Modelagem realizada às 1ª, 2ª, 3ª e 4ª Divisões do COMETPOR, com dados recolhidos entre 22 e 28 de dezembro de 2003.

²⁵ Este modelo constitui uma ferramenta de planeamento de sistemas de serviços, particularmente em serviços de emergência urbana, onde o utente que procura um serviço telefona para um central de atendimento do sistema, sendo a chamada reencaminhada para um servidor próximo do local da mesma. A obtenção de solução do modelo implica resolver um sistema de equações lineares que fornece as probabilidades de equilíbrio dos possíveis estados do sistema (ocupado ou vazio) (José, 2004).

²⁶ *MATLAB*[®] (*MATrix LABoratory*) é um sistema interativo utilizado para realizar cálculo numérico através de matrizes. Cfr. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, disponível em 2 de dezembro de 2016, às 22h e 50m.

²⁷ José (2004) ressalva que o Modelo Hipercubo deveria ser aplicado para uma situação de 16 átomos geográficos (área de informação geográfica) e 16 Servidores (dados reais, à data da investigação, no espaço geográfico em causa), gerando 2¹⁶ equações de equilíbrio. Contudo, o trabalho tornava-se inviável do ponto de vista computacional e face ao interesse da investigação (nível qualitativo, pela demonstração da eficácia e a utilidade da ferramenta), as conclusões retiradas referem-se a 4 servidores (16 equações de equilíbrio), em que cada um deles apenas responde a um átomo geográfico.

1.3.2. Novas abordagens

Outras abordagens para o problema de rotas de patrulhas incluem modelagem matemática (Mitchell (1972); Curtin et al. (2010)), simulação (Machado, Ramalho, Zucker, & Drogoul (2002); Santana, Ramalho, Corruble, & Ratitch (2004)), teoria dos grafos (Duchenne, Laporte, & Semet (2005); Chawathe (2007)) e soluções heurísticas Reis, Melo, Coelho, & Furtado (2006b); Lauri & Koukam (2008)) (Keskin & Parrish, 2010)²⁸.

Calvo e Cordone (2003) apresentam uma abordagem heurística para o problema de serviço de segurança durante a noite. Tendo em conta o modelo de Programação Linear Inteira (PLI) obtido, consideram que as abordagens exatas não são praticáveis na resolução de casos da vida real. Assim, o modelo é resolvido heurísticamente através de uma decomposição em dois subproblemas. O primeiro é um problema de agrupamento capacitado e o segundo é um problema múltiplo do caixeiro-viajante com janelas de tempo (*traveling salesman problem with time windows* [TSPTW]). Ambos têm uma restrição de raio que é incomum. Os resultados computacionais comprovam a robustez da abordagem utilizada. Além disso, a discussão detalhada dos resultados demonstra que os objetivos de gestão são satisfatórios, proporcionando redução de custos, uma forte garantia sobre o nível de serviço e ainda outras soluções.

1.3.3. Recursos e *hostspots*: condicionalismos na definição de rotas

Patrulhar é uma tarefa complexa, a qual, geralmente, requer uma grande coordenação na tomada de decisão de modo a alcançar o desempenho ideal. Em estudos anteriores foram desenvolvidas estratégias de patrulhamento com várias patrulhas, baseadas em diferentes abordagens, tais como: *multi-agent patrolling* (MAP) (Machado, Ramalho, Zucker, & Drogoul (2002) e Almeida et al. (2004)); soluções heurísticas; *reinforcement learning* (RL) *techniques* (Santana et al. (2004)); e, técnicas baseadas em *graph-theory*.²⁹ O estudo de Almeida et al. (2004) consiste numa comparação de todas as abordagens e no levantamento de estratégias desenvolvidas até à data para este domínio. Os resultados finais constituem um referencial valioso para a afetação de patrulhas e auxílio na tomada de decisão.

Um aspeto decisivo relacionado com a tarefa do MAP, que merece ser mais estudado, pode ser assim enquadrado: “*How to design better police patrol routes for crime regulation,*

²⁸ Ver Apêndice B.

²⁹ Ver Apêndice B.

taking into account the peculiarities of the patrolling scenario under consideration as well as the constraints usually imposed on the amount of human resources available to perform preventive monitoring?” (Reis et al., 2006a, p. 119).

Relacionado com o “desenho” ótimo para rotas de patrulha (*optimal design of patrol routes* [ODPR]), surgem duas questões importantes no estudo de (Reis et al., 2006a, p. 119): *How far from these optimal patrolling routing strategies are those actually adopted by human police managers?; How complex do such optimal patrolling routes need to be in terms of their total lengths and urban area coverage?* Neste seguimento, os referidos autores dão um passo importante para lidar com o problema ODPR e problemas associados, apresentando uma nova ferramenta de simulação evolutiva *multi-agent*, designada de GAPatrol³⁰. A abordagem subjacente ao GAPatrol permite a descoberta automática de pontos críticos/sensíveis (*hotspots*) e rotas de vigilância, as quais, em cenário real, são geralmente descobertas manualmente com a ajuda de estatísticas e/ou mapeamento. (Reis et al., 2006a). Os resultados qualitativos/quantitativos obtidos pelo GAPatrol, gerados em dois cenários de estudo, revelaram que a abordagem na detecção do comportamento dos criminosos foi eficaz, o desempenho foi alcançado recorrendo a métodos heurísticos e sem introdução do conhecimento humano (Reis et al., 2006a). Embora a configuração manual das rotas pudesse superar esta abordagem evolutiva em cenários simples, tal tarefa estaria longe da otimização ideal em cenários complexos. Os referidos autores concluem que:

- Quando a complexidade do ambiente aumenta, os padrões de criminalidade tornam-se mais difíceis de identificar e a tarefa humana fica aquém dos resultados esperados;
- À medida que as exigências impostas por ambientes mais complexos aumentam, estes apenas implicam mais tempo de processamento para solução (quase) ótima;
- Ao lidar com cenários urbanos complexos da vida real, onde os recursos são limitados e os *hotspots* são distribuídos geograficamente, as configurações geradas pelo GAPatrol teriam uma alta probabilidade de superar os produzidos manualmente;
- É uma promissora ferramenta de apoio à decisão para o patrulhamento policial.

³⁰ Esta ferramenta fornece um meio automático para a delimitação de importantes locais de vigilância (locais onde os crimes ocorrem com maior frequência), bem como a especificação de estratégias de encaminhamento eficaz (afetação dos recursos humanos) para patrulhamento preventivo sobre um ambiente artificial (região demográfica de interesse). O conceito de GAPatrol foi inspirado pela crescente tendência de hibridação da arquitetura *multiagente-system* (MAS), com algoritmos evolutivos (EAs) de forma a combinar as suas propriedades complementares (Reis, Melo, Coelho, & Furtado, 2006b).

A minimização de custos com o planejamento de rotas, a tipologia da rede viária (Chawathe, 2007) e a cobertura máxima de pontos críticos são fatores importantes na definição de pontos críticos e/ou com elevado número de acidentes (*hotspots*). Por meio da teoria dos grafos, a rede rodoviária é traduzida para um grafo ponderado, de forma a encontrar as rotas da patrulha cujas ponderações estão relacionadas com a importância dos locais correspondentes e a tipologia da rede rodoviária (Chawathe, 2007) (Keskin & Parrish, 2010).

No estudo de Keskin e Parrish (2010), a seleção dos “pesos” é relativamente arbitrária e influencia a seleção de rotas. Os autores supracitados abordam o problema de rotas de patrulhamento para uma cobertura máxima de *hotspots*. Desenvolveu-se um modelo de programação linear inteira mista, através de heurísticas de pesquisa local (*Local Search*) e pesquisa tabu (*Tabu Search*) (Glover, 1986), considerando um problema similar ao *orienting problem* (OP) designado por *team orienting problem with time windows* (TOPTW). Com base em dados do estado de Alabama (EUA), os autores fornecem recomendações para: i) níveis críticos de cobertura; ii) fatores que influenciam as medidas de serviço e iii) mudanças dinâmicas em rotas. As contribuições da investigação para a literatura são três: em primeiro lugar, a literatura sobre TOPTW centra-se na recolha de valores fixos dados *a priori*, enquanto o *Maximum Covering Patrol Routing Problem* (MCPRP) trata poupanças como um conjunto de “variáveis de decisão contínuas” e permite várias visitas ao mesmo *hotspot*; em segundo lugar, as abordagens à solução desenvolvida podem resolver casos da vida real do problema em segundos; e, por último, este trabalho afasta-se significativamente da literatura TOPTW através da introdução de medidas eficazes de patrulhamento (percentagem de *hotspots* cobertos e área coberta), que são úteis para as tomadas de decisão na determinação de níveis ótimos de cobertura para um determinado nível de recursos³¹ (Keskin & Parrish, 2010).

No entanto, o impacto desses *hotspots* para a seleção das rotas pretendidas são raramente considerados nos estudos, o que revela uma grande falha na maximização do desempenho das patrulhas (Li et al., 2011). Além disso, alguns algoritmos não têm um mecanismo para garantir a aleatoriedade e alguns não são suficientemente eficazes para serem aplicados em tempo real (Li et al., 2011). Os autores agora citados propõem uma

³¹ Em janeiro de 2012, é publicado um outro artigo designado de “*Analysis of an integrated maximum covering and patrol routing problem*” (Keskin, Li, Steil, & Spiller, 2012) no qual relata o mesmo modelo e as mesmas recomendações. Em julho de 2015 é apresentada uma formulação melhorada do MCPRP com aumento da cobertura entre 20% a 46% (Çapar, Keskin, & Rubin, 2015).

abordagem na otimização de rotas e nos esforços coletivos de patrulhamento. O estudo integra o Getis-Ord G_i^* ³² para produzir rotas de patrulha ideais e aleatórias, concluindo-se que esta abordagem pode ajudar a melhorar o desempenho coletivo do serviço de patrulha, revelando-se eficiente para aplicação em tempo real (Li et al., 2011).

Curtin et al. (2010) na sua investigação feita à polícia de Dallas, (estado do Texas, EUA), recorrendo a Sistemas de Informação Geográfica (SIG)³³ (Burrough, 1986), linguagem de programação (ILOG³⁴ *Optimization Programming Language (OPL) Studio*) e ao *software* de otimização CPLEX[®] 8.1³⁵ para aplicações de programação inteira, referem um conjunto de métodos e modelos de cobertura de apoio máximo nas áreas das patrulhas: *Police Patrol Area Covering (PPAC) model* (Curtin, Qiu, Hayslett-McCall, & Bray, 2005); *Maranzana heuristic* (Maranzana, 1963); *Maximal Covering Location Problem (MCLP)*; *Location Set Covering Problem (LCSP)*). Este trabalho apresenta um novo método para determinar distribuições espaciais eficientes de áreas de patrulhamento, empregando-se uma formulação de cobertura máxima tradicional e uma inovadora formulação de cobertura de apoio. Deste modo, são fornecidas soluções ótimas alternativas à tomada de decisão dos Cmdts, sendo suprida a falta de métodos quantitativos objetivos para as áreas policiais na literatura ou na prática (Curtin et al., 2010). Esta pesquisa demonstra que os métodos de IO podem ser usados na tomada de decisão, sendo incentivada a integração de SIG e de procedimentos na procura de soluções ótimas. Os modelos e métodos são testados com o plano geográfico da polícia de Dallas. As melhores soluções são comparadas com a geografia policial existente, mostrando melhoria substancial no número de incidentes abrangidos, bem como na distância total percorrida.

Esta pesquisa conclui que as soluções geradas podem aumentar o nível de serviço policial, encontrando atribuições espacialmente mais eficientes dos recursos em cenários variados (Curtin et al., 2010). Ao fazê-lo, este artigo faz duas contribuições adicionais:

³² Ferramenta apresentada para análise de *hotspots*, desenvolvida pela ArcGIS (ESRI, 2016c).

³³ Os SIG (da literatura inglesa “*Geographic Information System [GIS]*”) são sistemas bastante úteis no patrulhamento, pois permite um mapeamento e análise espacial das patrulhas, uma ferramenta: de prevenção e investigação de crimes; de planeamento de patrulhas; e de comunicação nas forças policiais (Wang, 2012). Zhang e Brown (2012) mostram, num estudo de caso do departamento de polícia de Charlottesville, EUA e através de uma plataforma de simulação *Java Repast* (<https://repast.github.io/>) com recurso a um ambiente de informação geográfica (GIS) que o desempenho do patrulhamento (tempo médio de resposta e variação de carga de trabalho) pode ser melhorado em comparação com a solução atual.

³⁴ ILOG[®] (atualmente pertencente à *International Business Machines [IBM[®]]*) é uma empresa líder em sistemas de otimização que fornece soluções em múltiplas áreas (gestão comercial e industrial, cadeias de abastecimento, apoio à tomada de decisão) (IBM, 2015b).

³⁵ IBM ILOG CPLEX[®] *Optimization Studio* vulgarmente designado de CPLEX (versão atual à data: 12.7.1), é um *software* que possibilita, através de algoritmos, a otimização de problemas para melhoria da eficiência, rentabilidade, redução de custos e apoio à tomada de decisão (IBM, 2015a).

desenvolve um método para integrar SIG, com otimização de programação linear para gerar e exibir as melhores soluções alternativas; e, formula um modelo inovador de cobertura de apoio adequado para o projeto da área de patrulhamento da polícia de Dallas (Curtin et al., 2010). Não menos importante, os autores aditam ainda que: “*To date, no application of the MCLP to the determination of police patrol or administrative areas has appeared in the literature*” (Curtin et al., 2010, p. 5), reforçando o quão oportuno e inovador é a aplicação de tal metodologia.

A maioria dos estudos tem-se centrado na redução do crime e acidentes após a aplicação de novas rotas de patrulha. Contudo, poucos têm documentado como melhorar ou mudar o tempo de expediente. Kuo, Lord, e Walden (2012) referem na sua investigação que a ideia de combinar dados de criminalidade e de acidentes para aplicação da lei não é nova e que as *Data-Driven Approaches to Crime and Traffic Safety* (DDACTS)³⁶ podem ajudar os departamentos de polícia a alocar recursos limitados de forma mais eficiente (Kuo et al., 2012). O objetivo deste estudo foi comparar o tempo de expediente entre duas condições: rotas de patrulha com *hotspots* organizados e padrões de rota sem focar em *hotspots* (Kuo et al., 2012).

Utilizaram-se dados obtidos do Departamento de Polícia da College Station e o estudo incluiu quatro etapas: i) análise de dados de geocodificação; ii) definição de *hotspots*; iii) organização das melhores rotas de patrulha; e, iv) estimativa da eficácia (Kuo et al., 2012). Para a análise de dados foi utilizado o *software* ArcGIS^{®37} e os resultados indicaram que o uso de protocolos DDACTS pode, potencialmente, reduzir o tempo de despacho da polícia entre 13% a 17% (Kuo et al., 2012).

1.3.4. Estratégias de planeamento e otimização

O planeamento adequado de rotas de patrulha aumenta a eficácia do patrulhamento policial e melhora a segurança pública (X. Chen, 2012). Por estas fortes razões, surge uma nova abordagem para o planeamento de rotas em tempo real e em ambientes dinâmicos através de um algoritmo rápido desenvolvido a partir do método de entropia cruzada (*cross*

³⁶ Iniciativa desenvolvida pela *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA), *Bureau of Justice Assistance* (BJA), e *National Institute of Justice* (NIJ). À data do artigo, seis cidades nos EUA usavam protocolos DDACTS e geralmente obtiveram resultados positivos e elogios públicos.

³⁷ À semelhança de Li et al. (2011), foi introduzido o Getis-Ord Gi*.

entropy [CE] (Rubinstein & Kroese, 2004)), para atender aos requisitos de computação em tempo real necessários à aplicação prática (X. Chen, 2012).

Como o tamanho das rotas cresce exponencialmente à medida que o número de unidades de patrulha aumenta, Chen (2012) propõe também no seu artigo um algoritmo CE aproximado (*approximate cross entropy* [ACE]) que equilibra o tempo de convergência com a otimização. Os resultados numéricos mostraram que o algoritmo proposto, baseado em CE, tem um desempenho significativo e, ainda, quando comparado com o algoritmo CE, o algoritmo ACE pode reduzir o tempo de convergência em até 48,9%, com menos de 1% de perda de desempenho (X. Chen, 2012).

Os principais contributos do artigo para a literatura são: formulação e análise computacional complexa (formula o problema de planeamento da rota de patrulha como um problema de programação e mostra que não é *NP-hard*); projeto de algoritmos rápidos (para o planeamento de rotas de uma única patrulha, propõe um algoritmo CE que alcança soluções quase ótimas, com uma velocidade suficientemente rápida e, para múltiplas patrulhas, concebe um algoritmo ACE); desempenho superior (resultados numéricos mostram um aumento significativo e redução do tempo de convergência) (X. Chen, 2012).

Atualmente, o congestionamento da rede viária é considerável nas áreas urbanas, decorrente do aumento do número de viaturas a circular, pelo que a verificação do trânsito é um fator importante no patrulhamento. Assim, existe a necessidade de criar uma imagem e presença dissuasoras de infrações e tentativas de manobras perigosas (Adler, Hakkert, Kornbluth, Raviv, & Sher, 2014). Por este motivo, as patrulhas devem ser colocadas em locais estratégicos³⁸, a fim de aumentar a sua presença e visibilidade, na tentativa de prevenir ou reduzir infrações de trânsito, acidentes rodoviários e congestionamento de tráfico (Adler et al., 2014). Considerando um problema de atribuição de veículos (*Routine Patrol Vehicle* - RPV), estes podem ser resolvidos com alguns programas lineares inteiros³⁹. Os modelos de alocação-localização (*location-allocation*) aplicados no “terreno” fornecem alternativas para melhorar a dissuasão e prevenção e, ainda, auxiliar a tomada de decisão no planeamento das patrulhas⁴⁰ (Adler et al., 2014).

³⁸ Entendam-se os locais com maior congestionamento de trânsito, número de acidentes de viação, condução em excesso de velocidade, realização de manobras perigosas.

³⁹ Programas utilizados para resolução do RPV e posterior comparação: *Conspicuous-coverage trade-off model*, *Maximum conspicuousness accounting for calls-for-service model*, *Maximize conspicuousness with varying time coverage model* e *Multiple shift model* (Adler et al., 2014).

⁴⁰ Os resultados dos modelos diferem dos que já existem na literatura e apresentam uma configuração de alocação-localização por RPV, por turno com cobertura completa das chamadas de serviço, enquanto maximiza a presença policial e a conspicuidade como promotores da segurança rodoviária (Adler et al., 2014).

Na atual conjuntura económica, muitas forças policiais reduziram os custos, especialmente em pessoal, o que originou aumento de trabalho e deterioração da segurança pública (Camacho-Collados & Liberatore, 2015). Com o intuito de otimizar os recursos humanos, foi criado um Sistema de Apoio à Decisão (*Decision Support System* [DSS]) que combina capacidades de policiamento preditivo⁴¹ com um modelo de patrulhamento por distritos (Camacho-Collados & Liberatore, 2015). O DSS proposto, desenvolvido em estreita colaboração com o Corpo de Polícia Nacional Espanhol (*Spanish National Police Corps* [SNPC]), foi aplicado no Distrito Central de Madrid.

Os resultados das experiências mostram que o sistema supera nitidamente as definições de área de patrulha atualmente em uso pelo SNPC. Com base em dados reais de incidentes criminais, o modelo não só pode prever incidentes futuros com precisão, mas também determinar uma distribuição policial muito eficiente. Através de indicadores de eficiência, o DSS identifica desempenhos associados a diferentes estratégias de patrulhamento e representa um primeiro passo em direção a um sistema abrangente, baseado em algoritmos matemáticos, proporcionando uma abordagem objetiva e eficaz na tomada de decisão para a distribuição adequada das patrulhas disponíveis (Camacho-Collados & Liberatore, 2015).

Foi criado também um Sistema de Apoio à Decisão, mas aplicado a centros de serviço de patrulha *Patrol Service Center* (PSC)⁴² em seis distritos na China (Yang, Hu, & Zhou, 2015). Do ponto de vista da otimização e programação dos recursos relacionados com a patrulha, foram definidos os critérios de avaliação para a implantação do PSC e construídos seis modelos (Yang et al., 2015). Como contribuição importante, o estudo desenvolveu uma solução holística e sistemática para a implantação e programação de vários cenários importantes de PSC's (Yang et al., 2015).

Por falta de financiamento nas áreas da segurança, também foi desenvolvida uma outra ferramenta para gerar maior eficiência de recursos, tendo como aplicações no

⁴¹ O termo policiamento preditivo é relativamente recente e refere-se à aplicação de técnicas quantitativas para prever onde os crimes ocorrerão a curto prazo (Camacho-Collados & Liberatore, 2015).

⁴² A configuração, implantação e programação de recursos do PSC são importantes para melhorar a eficiência dos recursos relacionados com a patrulha, quantidade de serviço e capacidade de resposta (Yang et al., 2015).

mapeamento⁴³, roteamento⁴⁴ e tomada de decisão⁴⁵ (Leigh, Dunnett, & Jackson, 2015). Com a simulação utilizada à polícia de Leicestershire (condado de Inglaterra), provou-se que, tomar uma decisão informada pode aumentar significativamente a eficiência sobre a seleção aleatória dentro da proximidade (Leigh et al., 2015).

O patrulhamento policial é um dos procedimentos mais importantes para a prevenção da criminalidade e para uma resposta antecipada a emergências em áreas urbanas e, por isso, muitas estratégias foram desenvolvidas e utilizadas na prática (Chen, Cheng, & Wise, 2015). Nas operações de policiamento, torna-se necessário transverter o patrulhamento de *hotspots* em rotas detalhadas⁴⁶ e, até à data, diferentes abordagens foram idealizadas na conceção de rotas de patrulha (Chen et al., 2015).

Decorrente da limitação de patrulhas no terreno e em relação ao ideal pretendido, torna-se fundamental encontrar formas de cobrir *hotspots* com a mesma eficiência e eficácia (Chen et al., 2015). Assim, é necessária uma boa estratégia de patrulhamento para minimizar o intervalo de tempo médio entre visitas consecutivas a *hotspots*, além de coordenar vários patrulheiros e transmitir imprevisibilidade nas rotas definidas. Estudos anteriores têm projetado diferentes estratégias na definição de rotas eficientes, mas demonstraram dificuldade em generalizar o patrulhamento real e atender a vários requisitos. Através de uma nova estratégia de patrulhamento policial⁴⁷, baseada no método bayesiano (Portugal & Rocha, 2013) e no algoritmo de “colónia de formigas”⁴⁸, os resultados sustentados numa

⁴³ São usadas informações (loais com pontos ao longo de estradas, tipo e nomes das estradas e restrições de tráfego) para formar o mapa direcionado, devido ao facto de algumas estradas serem de sentido único (Leigh et al., 2015). O custo para o estudo em causa é determinado pelo tempo necessário para percorrer cada ponto. As informações estão contidas nas matrizes dentro da ferramenta de mapeamento, para permitir que as restrições sejam colocadas durante o encaminhamento (Leigh et al., 2015)

⁴⁴ Tendo em consideração a ponderação atribuída a cada estrada (tráfego previsto) e o tempo de resposta mais curto, através do caminho mais rápido, utilizando o algoritmo de Dijkstra (Dijkstra, 1959) (Leigh et al., 2015).

⁴⁵ Decisões baseadas em informações das localizações GPS e lista de recursos obtida do roteamento e os critérios de decisão utilizados são a disponibilidade, o tempo de resposta previsto, a cobertura da área e o nível de condução (Leigh et al., 2015).

⁴⁶ Geralmente, uma boa estratégia é aquela que minimiza o intervalo de tempo entre duas patrulhas para o mesmo *hotspot* e para todos os *hotspots* (Chen et al., 2015). Foram sugeridos vários critérios para quantificar a eficácia das estratégias de patrulhamento, incluindo o repouso e a frequência das visitas ou a distância percorrida (Iocchi, Marchetti, & Nardi, 2011).

⁴⁷ Estratégia designada de *Bayesian Ant Patrolling Strategy* (BAPS) (Chen et al., 2015). Nesta estratégia utiliza-se um marcador virtual (feromona) (Dorigo, Maniezzo, Colomi, & Dorigo, 1991) que é estabelecido para marcar o histórico de visita de cada *hotspot*, e os patrulheiros decidem continuamente qual o *hotspot* para a próxima patrulha com base no nível de feromonas e outras variáveis (Chen et al., 2015).

⁴⁸ Designado de *Ant Colony Algorithm* e utilizado no patrulhamento multiagente (Lauri & Koukam, 2008; Fu & Ang, 2009; Doi, 2013).

simulação e em dados reais demonstram a natureza efetiva, escalável, imprevisível e extensível dessa estratégia⁴⁹.

Uma estratégia de roteamento cooperativo para operações diárias torna-se fundamental para manter os efeitos do policiamento nos vários *hotspots* e para reduzir o crime e a desordem (Chen, Cheng, & Wise, 2017). As estratégias de roteamento de robôs existentes (Portugal & Rocha, 2013) não são adequadas, pois omitem as particularidades e desafios do patrulhamento diário, bem como a coordenação de vários patrulhamentos e a transmissão da imprevisibilidade às rotas de patrulha (Chen et al., 2017).

Para enfrentar os desafios do patrulhamento atual, são desenvolvidas, sob um conjunto de diretrizes, uma inovadora estratégia, baseada em heurística e de inspiração bayesiana em tempo real, para patrulhamento cooperativo (Chen et al., 2017). Através de dois casos reais (Chicago do Sul e Camden) e uma estratégia de patrulha de referência, foi realizada uma simulação para testemunhar a eficiência, flexibilidade, escalabilidade, imprevisibilidade e robustez da estratégia proposta e a usabilidade das diretrizes propostas. Os autores supra mencionados apresentam o seu artigo como um desenvolvimento e uma melhoria substancial ao trabalho anterior (Chen et al., 2015). Para além dos amplos antecedentes introduzidos acima, o seu artigo é essencialmente melhorado em cinco aspetos (Chen et al., 2017):

- Primeiramente, foram discutidas apenas três orientações em Chen et al. (2015), nomeadamente, eficiência, flexibilidade e imprevisibilidade. No artigo recentemente desenvolvido são apresentadas duas diretrizes adicionais (escalabilidade e robustez) que medem a aplicabilidade geral da estratégia de roteamento em diferentes situações, incluindo diferentes tamanhos nas equipas, áreas de pontos críticos e emergências, sendo que não foi discutido em nenhuma literatura anterior (Chen et al., 2017). Além disso, a diretriz de imprevisibilidade é quantificada no último artigo, que foi apenas concetualmente discutida em Chen et al. (2015);
- Em segundo lugar, a BAPS é mais aprofundada;
- Em terceiro, é apresentado um modelo *on-line* que simula a patrulha com a interação do controlador e patrulheiros;
- Em quarto lugar, a estratégia é testada incluindo cenários de emergência;

⁴⁹ Através de dados empíricos de SIG e de incidentes reais e ainda devido à natureza probabilística, a estratégia pode reduzir a previsibilidade nas rotas de patrulha (Chen et al., 2015).

- Por último, para testar a aplicabilidade em diferentes áreas, é acrescido um novo estudo de caso: Chicago do Sul.

As principais contribuições deste estudo compreendem o desenvolvimento de diretrizes e medidas relevantes para uma estratégia de roteamento da patrulha policial, o desenvolvimento da estratégia de roteamento BAPS, seguindo estas diretrizes, e, ainda, a verificação da estratégia usando simulações baseadas em agentes (*agent-based simulations*) (Chen et al., 2017).

Partindo de situações distintas, os artigos citados têm em comum a construção de rotas através de um conjunto de pontos previamente identificados, salvaguardando as especificidades de cada problema estudado. O que genericamente está em causa é a resolução do chamado VRP ou TSP⁵⁰.

1.4. Síntese

Através da revisão de literatura acima descrita, conclui-se que apesar de muita diversidade, todas as abordagens partilham a necessidade de auxiliar as tomadas de decisão, promover a economia, eficiência e eficácia (vulgarmente designado de 3E's), simplificar o trabalho humano, devido à complexidade das situações diárias e reduzir custos (fator transversal à sociedade), através de estratégias práticas e com resultados comprovados.

Por força do enquadramento que a IO encerra em vastas áreas do conhecimento, as forças policiais não são exceção. Os estudos abordados revelam, através de estudos de caso ou de âmbito prático, contributos úteis para a localização e/ou alocação de patrulhas, cobertura de *hotspots*: definição, construção e otimização de rotas e ainda aumento/desenvolvimento do serviço policial.

Da recensão bibliográfica feita ao “estado da arte”, verifica-se que várias são as abordagens feitas ao problema de gestão e construção de rotas, em especial rotas de patrulhamento policial. Contudo, quanto se sabe até ao momento, não há nenhum estudo feito em Portugal sobre estas matérias.

⁵⁰ Abordado em 1.2.1. e 1.2.2 respetivamente. Como definido anteriormente, neste tipo de problemas procura-se a construção de rotas de “custo” mínimo a partir de um CA.

CAPÍTULO 2

PATRULHAMENTO

2.1. Introdução

Decorrente da conjuntura atual, existe a necessidade de aplicar de forma criteriosa e racional os recursos disponíveis, mantendo os padrões de operacionalidade (GNR, 2014). Por este motivo, existem linhas de orientação estratégica da GNR como: “Otimizar para criar valor”, referida na Estratégia 2020; e, no Plano de Atividades da GNR (PAGNR) de 2017, sob a forma de Objetivo Estratégico: “Otimizar a capacidade do dispositivo policial, reforçando os meios operacionais e a presença e visibilidade em zonas de maior risco, visando assegurar a adequação ao serviço prestado às necessidades e expectativas das populações” (GNR, 2016b, p. 68).

Este capítulo é composto por seis subcapítulos. Para além desta introdução, é elaborado um pequeno enquadramento normativo da GNR com a regulamentação a que o patrulhamento obedece.

Posteriormente, define-se e classifica-se o patrulhamento, abordando de seguida os aspetos principais de uma patrulha.

Porque o planeamento e os itinerários são fundamentais para a tarefa de patrulhar, define-se o que é um giro e abordam-se as circunstâncias que decorrem do seu pré-estabelecimento.

2.2. Enquadramento Normativo

A GNR, como instituição centenária⁵¹, é portadora de um vasto conjunto de normas e regras que regulamenta todo o serviço operacional, não sendo o patrulhamento uma exceção. Ao longo dos anos e fruto da existência de um Manual de Operações da Guarda desde 1997, a legislação estabelecida e os procedimentos técnico-táticos vão ao encontro

⁵¹ No dia 3 de maio de 2017 celebrou 106 anos de existência.

desta base normativa.⁵² Os preceitos relativos ao patrulhamento encontram-se vertidos, não só no Manual de Operações da Guarda, mas também em Despachos, circulares internas, Normas de Execução Permanente (NEP), Ordens à Guarda (OG) e demais legislação aplicável e orientações definidas superiormente.⁵³

2.3. Definição e classificação

Genericamente, o patrulhamento pode ser definido como *“the act of walking or traveling around an area, at regular intervals, in order to protect or supervise it”* (Abate, 1997, p. 578). Não obstante e *“informally, a good patrolling strategy is one that minimizes the time lag between two visits to the same location. Patrolling can be useful for domains where distributed surveillance, inspection or control is required.”* (Almeida et al., 2004, p. 474). Neste sentido, torna-se cada vez mais importante, além da execução do patrulhamento reativo, conduzir esforços no sentido de desenvolver e fortalecer um patrulhamento proativo.⁵⁴

No contexto da GNR, o patrulhamento é uma ação fundamentalmente preventiva e de vigilância,⁵⁵ efetuada por uma força de efetivo variável⁵⁶, devidamente instruída, uniformizada, armada, equipada e comandada, destinada ao cumprimento da missão geral da Guarda ou de uma missão específica⁵⁷ (GNR, 1997). Segundo o que está determinado, é classificado quanto ao tipo (genérico (ordinário, intensivo ou geral) ou específico), quanto ao ambiente operacional (terrestre (urbano, rural ou a locais específicos), aéreo ou aquático), quanto à forma (de giro, de área, de local ou misto) e quanto à mobilidade (apeada, a cavalo, auto, moto e embarcação, em helicóptero ou aeronave ou ainda mista) (GNR, 1997).

⁵² Cfr. artigo 152.º do Regulamento Geral do Serviço da Guarda Nacional Republicana (RGSGNR).

⁵³ Nomeadamente, o Capítulo I do Título II da Parte II do Volume II do Manual de Operações da Guarda de 1997, RGSGNR - Despacho n.º 10393/2010, de 22 de junho, circular n.º 19/2014-P de 29 de dezembro, NEP/GNR – 3.01.06 de 04 de novembro de 2016.

⁵⁴ O patrulhamento proativo permite concentrar atenção em áreas problemáticas e constitui-se como um método comprovado para aumentar a eficácia das patrulhas e reduzir o crime. Considera-se uma prática recomendada no campo da aplicação da lei, sendo eficaz em segmentar problemas recorrentes. Permite abordar os problemas da comunidade de forma mais concertada e focada (Demers et al., 2007).

⁵⁵ Através da recolha de informações, visando a manutenção da ordem, segurança das populações e a prevenção de atos ilegais (GNR, 1997). Através de um patrulhamento intensivo a toda a ZA da GNR, de forma quotidiana, prioritária e preventiva e ainda por uma presença, vigilância e fiscalização assíduas cumprem-se as missões de carácter policial cometidas à Guarda (MAI, 2010).

⁵⁶ Dois ou mais elementos ou em circunstâncias especiais, por militares isolados e consideram-se agentes de força pública e de autoridade (patrulhas) (GNR, 1997).

⁵⁷ Constitui atribuições da GNR a vigilância, patrulhamento e interceção marítima e terrestre, por toda a costa e mar territorial do continente e das Regiões Autónomas (Assembleia da República [AR], 2007).

Independentemente da natureza do patrulhamento, o reconhecimento ativo da ZA e a vigia de pontos e instalações sensíveis⁵⁸ presentes na área deve ser uma preocupação predominante, proporcionando-se ao efetivo o conhecimento da localização desses pontos e instalações, por forma a, sempre que o itinerário o possibilite, efetuar a sua vigilância (Ministério da Administração Interna [MAI], 2010).

2.4. Patrulha

Os PTers⁵⁹, “sendo por excelência os órgãos de execução do serviço policial, garantem a segurança da sua ZA através do lançamento diário de patrulhas” (Brito, 2010, p. 43). Estas “são as células base da atividade policial” (Brito, 2010, p. 43) e constituem a “principal modalidade de execução do serviço policial” (Brito, 2010, p. 76). Podem-lhes ser atribuídas como missões a segurança e proteção de pessoas e bens, a ordem e tranquilidade públicas, o cumprimento das leis e regulamentos, o reconhecimento ativo e recolha de informações e notícias, a regularização e fiscalização de trânsito, acompanhamento de transportes, auxílio e socorro (GNR, 1997), vigilância de pontos e instalações sensíveis, o auxílio e socorro, sem prejuízo da existência de instruções especiais (*e.g.* notificações) ou de missões específicas (*e.g.* serviço gratificado) (Brito, 2010). Deste modo e “doutrinariamente, os postos utilizam essencialmente dois modelos de patrulhas: as patrulhas policiais e as patrulhas às ocorrências⁶⁰. Ambas têm uma missão, giros e horários pré-definidos”⁶¹ (Brito, 2010, p. 77).

⁵⁸ De acordo com o artigo 140.º do RGSGNR, podem considerar-se pontos e instalações sensíveis, as povoações ou outros núcleos populacionais, complexos industriais ou agrícolas, barragens, serviços hospitalares e de comunicações, pontos importantes das vias de comunicação, pontes, túneis, estabelecimentos escolares e comerciais, bancos, serviços postais, farmácias, ourivesarias e armeiros (MAI, 2010).

⁵⁹ O Posto Territorial (PTer) “é a mais pequena unidade orgânica da Guarda” (Branco, 2010, p. 223) e no dispositivo territorial, por via da sua dispersão, constitui uma malha sistemática de ocupação do terreno. É um escalão detentor essencialmente de responsabilidade operacional para garantir o cumprimento da missão geral da GNR (Brito, 2010).

⁶⁰ A metodologia utilizada para classificar a patrulha é idêntica à classificação dada ao patrulhamento (GNR, 1997). De um ponto de vista prático, as patrulhas às ocorrências são designadas de patrulhas Alfa e as patrulhas policiais, de patrulhas Bravo.

⁶¹ A patrulha às ocorrências distingue-se por ter a duração de um turno de 8 horas seguidas, garantindo a disponibilidade imediata para assegurar o tratamento policial de situações inopinadas ou de ocorrências extraordinárias, desempenhando patrulhamento policial normal quando não estiverem empenhadas (Brito, 2010).

As ações de patrulhamento devem preencher as 24 horas do dia e toda a ZA⁶² (GNR, 1997), atendendo aos efetivos disponíveis e decorrente das conveniências e necessidades do serviço (MAI, 2010).

Um fator preponderante no planeamento, nomeadamente, nos meios a empregar, é a forma de patrulhar (GNR, 1997). As patrulhas devem ser constituídas com um efetivo maior ou mais pequeno e com prioridade dada a determinados meios, de acordo com a natureza (rural ou urbana da área de execução do patrulhamento) e com o período do dia (diurno ou noturno) (GNR, 1997).

2.5. Giro

Decorrente da ação de patrulhamento policial, o “giro⁶³ é o processo natural no qual as patrulhas atingem, de forma sistematizada e programada, todos os pontos da sua área de responsabilidade, para exercerem a sua missão, devendo ser convenientemente escolhido” (MAI, 2010, p. 33881). No planeamento e execução dos giros há que dar atenção a vários aspetos. O regresso, a partir do ponto mais afastado do percurso deve ser feito por um caminho diferente; o percurso e o patrulhamento devem ser feitos com a regularidade devida; a duração e a extensão do itinerário devem ser reconhecidas previamente prevendo o tempo necessário para contactar com os habitantes. Além disso, face ao tempo disponível da etapa normal e não ultrapassando o legalmente estabelecido, o itinerário deve ser o mais extenso possível, abrangendo, na área à sua responsabilidade, os pontos ou instalações sensíveis (MAI, 2010).

No patrulhamento de giro, torna-se imprescindível garantir a sua viabilidade, adaptando o tamanho do itinerário pré-estabelecido com o tempo da ação e os meios a empregar (GNR, 1997). Por forma a evitar rotinas, mas atendendo sempre aos locais mais importantes a toda a ZA, os giros devem ser revistos periodicamente (MAI, 2010). Os mesmos podem ser alterados por força de ocorrências de serviço ou motivos imprevistos, mas acarretam responsabilidade para os respetivos Cmdts, sendo alvo de justificação posterior na guia de patrulha.⁶⁴

⁶² Sempre que assim não for possível fruto das circunstâncias, pode-se, de acordo com as informações disponíveis, versar por uma intensificação especial de patrulhamento em períodos, giros, locais ou áreas da ZA específicos (GNR, 1997 e MAI, 2010).

⁶³ O patrulhamento é executado por um itinerário pré-estabelecido (GNR, 1997). Denomina-se de giro livre sempre que, na ZA de um determinado Pter, for estabelecido um giro sem itinerário (GNR, 1997).

⁶⁴ Modelo CEGRAF/GNR N.º 56. Cfr. artigo 169.º do RGSGNR.

2.6. Síntese

O patrulhamento encontra-se regulamentado segundo um quadro normativo abrangente a todo o serviço policial. Apesar das constantes atualizações de legislação a este nível, o Manual de Operações da Guarda consubstancia-se numa base fundamental de circunscrição quanto aos fundamentos do patrulhamento. O reconhecimento da ZA, a recolha de informações, a segurança pessoal e de terceiros e a atenção e preocupação constantes do meio envolvente devem estar sempre presentes antes, durante e após o patrulhamento. A vigilância e a fiscalização preventivas unificam-se ao objetivo do patrulhamento, sendo necessário um planeamento rigoroso, uma atuação exigente e uma conduta exemplar, preponderantes para uma força humana, próxima e de confiança.

PARTE II – PRÁTICA

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

3.1. Introdução

A palavra metodologia surge do grego: “*meta*”, que significa “ao largo”, “*odos*”, que significa “caminho”, e, “*logos*”, que significa “discurso, estudo”, ou seja, “de uma forma simples pode-se definir metodologia como sendo um processo ou método para atingir um fim.” (Sarmiento, 2013, p. 4).

Concluída a parte teórica do trabalho, apresenta-se de seguida toda a metodologia adotada para esta investigação, designadamente o modelo de análise com a pergunta de partida, as perguntas derivadas e a definição de hipóteses e, ainda, o tipo de abordagem empregue (Academia Militar, 2016). O presente capítulo ostenta ainda uma breve descrição do contexto de observação, no tempo e no espaço e os métodos, técnicas e procedimentos utilizados (Academia Militar, 2016). Deste modo, elaborou-se um resumo em esquema de toda a estrutura da investigação (Apêndice C).

3.2. Modelo de análise

Como referido anteriormente, a pergunta de partida desta investigação é: Podem os modelos de otimização de rotas ser aplicados no DTer de OAz e respetivos PTers com benefícios operacionais e ganhos de eficiência?

Como perguntas derivadas (PD), no sentido de dar apoio à pergunta de partida e restringindo a investigação, enumeram-se as seguintes:

PD₁: É possível construir modelos que representem a problemática da construção de rotas eficientes no DTer e respetivos PTers?

PD₂: O planeamento da otimização de rotas é aplicável em tempo útil?

PD₃: Os modelos construídos revelam ser vantajosos e acrescentam poupanças e valor às soluções encontradas até ao momento?

PD4: É possível usar ou construir algum tipo de ferramenta que possa ser operacionalizada no terreno?

Com o intuito de organizar a investigação, estabeleceram-se hipóteses de trabalho, pois “constitui a melhor forma de a conduzir com ordem e rigor, sem por isso sacrificar o espírito de descoberta e de curiosidade que caracteriza qualquer esforço intelectual” (Quivy & Campenhoudt, 2013, p. 119). As hipóteses de um trabalho científico⁶⁵ são suposições “que fazemos, na tentativa de explicar o que desconhecemos e o que pretendemos demonstrar, testando variáveis que poderão legitimar ou não o que queremos explicar ou descobrir” (Prodanov & Freitas, 2013, p. 88)

Para numa fase final do trabalho confirmar ou refutar, foram elaboradas as seguintes hipóteses:⁶⁶

H₁: As rotas de patrulha são passíveis de ser formuladas matematicamente através de modelos de PLI.

H₂: O tempo de resolução dos modelos é aceitável do ponto de vista prático.

H₃: As soluções encontradas acrescentam poupança e valor relativamente às atuais.

H₄: As ferramentas informáticas de construção de rotas podem ser usadas no contexto diário.

3.3. Método de abordagem da investigação

O conjunto de procedimentos e normas que permitem produzir conhecimento, é designado de método científico (Sarmiento, 2013). Neste sentido, recorre-se, não só às Normas para a Redação de Trabalhos de Investigação da Academia Militar⁶⁷, mas também às normas APA (*American Psychological Association*) 6^a Edição, quando a NEP referida (por sua indicação) se encontra omissa.

Este trabalho está assente no método hipotético-dedutivo proposto por Karl Popper (1902-1994), no sentido de testar as hipóteses elaboradas para relacionar e explicar os fenómenos encontrados (Sarmiento, 2013).

Primeiramente, baseado nas obras/instruções de Sarmiento (2013) e Quivy e Campenhoud (2013) para a recolha de dados, utilizou-se o método inquisitivo, através da

⁶⁵ Ciência provém do verbo em latim *Scire* que significa aprender, conhecer (Prodanov & Freitas, 2013).

⁶⁶ Segundo Hill e Hill (2008) as hipóteses têm uma grande importância no processo de investigação para evitar ambiguidades e clarificar o objeto do trabalho.

⁶⁷ NEP n.º 522/1ª de 20 de janeiro – Direção de Ensino (2016).

realização de entrevistas exploratórias⁶⁸ que permite “explorar um domínio e aprofundar o seu conhecimento através da inquirição” (Sarmiento, 2013, p. 28) e, ainda, o método de observação direta com o intuito de “abrir pistas de reflexão, alargar e precisar os horizontes de leitura, tomar consciência das dimensões e dos aspetos de um dado problema.” (Quivy & Campenhoudt, 2013, p. 79).

Posteriormente e por forma a responder à pergunta de partida e perguntas derivadas, esta investigação fundamenta-se nas fases de estudo em IO referidas por Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013).⁶⁹

Este trabalho apresenta uma abordagem quantitativa, pois é objetiva (Sarmiento, 2013) e fornece os esclarecimentos necessários para cumprir os objetivos desta investigação.

3.4. Técnicas, procedimentos e meios utilizados

Esta investigação contempla diversas técnicas, procedimentos e meios adotados a partir dos manuais de investigação de Sarmiento (2013) e Quivy e Campenhoudt (2013) e das fases de estudo em IO, referidas por Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013), como supra mencionadas.

3.4.1. Recolha de dados

Por forma a sustentar e complementar a recolha de dados, realizou-se uma pesquisa primária, consistindo em observação direta e entrevistas, e secundária, através de análise documental de fontes bibliográficas. Deste modo, torna-se possível comparar as diferentes fontes por uma sobreposição e cruzamento de dados.

A utilização da *internet* possibilitou o acesso a numerosa bibliografia, nomeadamente livros (*e-books*), artigos científicos, revistas e periódicos, teses de mestrado e doutoramento e legislação relevante.

Através das observações diretas e entrevistas exploratórias efetuadas ao Cmdt do DTer de OAz e aos vários Cmdts de PTer, foi possível recolher dados importantes, nomeadamente, a forma de planeamento e elaboração de giros, níveis de criminalidade e pontos sensíveis e ainda dificuldades e limitações vividas no patrulhamento diário (Apêndice F). Através dos mesmos tipos de instrumentos científicos realizados na DCSI, foi ainda

⁶⁸ Ver Apêndice D.

⁶⁹ Ver Apêndice E.

possível recolher dados acerca do papel que a informação geográfica ocupa no seio da GNR, nomeadamente, do SIIOP – G, principais valências e aplicações existentes, dificuldades sentidas na operacionalização dos Sistemas de Informação (SI) e potenciais soluções e projetos a implementar (Apêndice G).

3.4.2. Tratamento de dados

O levantamento de dados decorrentes da análise documental foi basilar na análise de toda a parte teórica desta investigação. Consumou-se na comparação de diferentes autores, diversos modelos e distintas abordagens ao problema de otimização de rotas, bem como no enquadramento do patrulhamento na GNR.

Todos os dados levantados através de observações diretas e entrevistas exploratórias foram essenciais, não só para realização de uma análise interna⁷⁰, mas também para perceber a realidade existente e para levantar dados importantes ao estudo da otimização de rotas realizado nesta investigação.

O foco deste trabalho, baseado nos dados recolhidos e descritos no parágrafo anterior, tem por objetivo a construção de rotas eficientes através da modelagem matemática, seguindo os procedimentos enunciados por Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013) no que concerne às fases de estudo em IO. Neste sentido, são abordadas e testadas 4 ferramentas (Heurística de Clarke e Wright (CW), *OptiMap*, *LORE*® e *ArcMap*®), com o intuito de gerar soluções e facilitar a tomada de decisão.⁷¹

Ressalva-se que este estudo comporta alguns dados restritos e confidenciais, pelo que o seu tratamento e apresentação exigiu especial cuidado e atenção.

3.5. Local e data da pesquisa e recolha de dados

De acordo com o tipo e finalidade de dados pretendidos, a sua recolha desenvolveu-se em vários locais e em vários períodos de tempo.

Para realização do enquadramento teórico, a procura e recolha de dados ocorreu fundamentalmente em OAz, na Biblioteca da Academia Militar, Biblioteca da Escola da Guarda, no Instituto Superior de Ciências Policiais e de Segurança Interna, na Universidade de Aveiro e no DTer de OAz, no período de outubro de 2016 a março de 2017.

⁷⁰ Ver Apêndices F e G.

⁷¹ Ver Apêndice H.

Posteriormente, para realização de observações diretas e entrevistas exploratórias, procedeu-se à recolha de dados nos locais de cada PTer do DTer de OAz e na DCSI da GNR (Comando-Geral da GNR), de dezembro de 2016 a abril de 2017.

3.6. Aplicações informáticas utilizadas

Fruto da natureza desta investigação e de todo o processo científico desenvolvido, este trabalho recorre a diversas aplicações informáticas, que, mediante os fins a que se destinam, são utilizadas em diferentes contextos. Deste modo, para a gestão e organização de toda a bibliografia, é utilizado o *Mendeley*⁷² e, para a redação deste trabalho, o *Microsoft Office Word*⁷³ (Academia Militar, 2016).

Relativamente ao tratamento de dados, nomeadamente, na elaboração das tabelas com as coordenadas dos *hotspots* de cada PTer em estudo e na construção de soluções da heurística de CW, foi utilizado o *Microsoft Office Excel*.⁷⁴ Na fase de testes ao modelo matemático, além do *Microsoft Office Excel*, utiliza-se também, o *ArcMap*⁷⁵ e o *LORE*⁷⁶. Para elaboração do Diagrama de Voronoi recorreu-se à aplicação *QuantumGIS*⁷⁷.

3.7. Síntese

Nesta investigação foram adotados diversos métodos, procedimentos e técnicas tendo em vista a efetivação dos objetivos predefinidos. Assim sendo, o principal método adotado é o hipotético-dedutivo e os procedimentos de Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013) ostentam um papel basilar na fundamentação e resposta às questões de investigação.

Os meios de pesquisa e de recolha de dados utilizados, nomeadamente o acesso à *internet* e as entrevistas efetuadas, permitiram a compreensão da realidade existente na GNR.

⁷² Versão *Desktop* 1.17.9. *Mendeley* é uma aplicação *web* e *desktop* produzida pela Elsevier® para gerir e partilhar referências bibliográficas e documentos de investigação e ainda descobrir novas referências e dados através da colaboração *on-line*.

⁷³ Versão Professional Plus 2016.

⁷⁴ Versão Professional Plus 2016.

⁷⁵ Versão 10.5. Um dos principais componentes do ArcGIS, sob domínio da ESRI® (*Environmental Systems Research Institute*).

⁷⁶ *Software* desenvolvido na Universidade de Aveiro por Rui Borges Lopes, crf. <http://sweet.ua.pt/ruiborges/index.html>. Acesso via *e-mail*: <http://lore.web.ua.pt/>, disponível em 4 de fevereiro de 2017, às 11h e 20m.

⁷⁷ Versão *Desktop* 2.18.4. Aplicação *open source* baseada em SIG. Cfr. http://docs.qgis.org/2.14/pt_PT/docs/user_manual/preamble/foreword.html, disponível em 27 de março de 2017, às 21h e 20.

O período de outubro de 2016 a maio de 2017 foi indispensável para consolidação dos objetivos propostos. Todas as aplicações informáticas utilizadas trouxeram vantagens e valor à investigação.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados, por ordem lógica, os resultados obtidos e a sua discussão⁷⁸, expondo detalhadamente todo o trabalho empírico realizado (Sarmiento, 2013).

Assim sendo, descreve-se a análise da aplicabilidade de modelos de otimização de rotas ao DTer de OAz e respetivos PTer. Posteriormente, apresentam-se os resultados obtidos, baseados na metodologia de Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013) e, ainda, análises suplementares testadas em instrumentos de apoio à decisão.

4.2. Aplicabilidade da otimização de rotas no Destacamento Territorial de Oliveira de Azeméis

Para o propósito desta investigação, por um lado, torna-se necessário avaliar quais as situações que merecem uma preocupação acrescida, no âmbito da aplicação de modelos de otimização, e analisar as potenciais soluções decorrentes da sua implementação. Por outro lado, devem ser examinadas as restantes situações, que não são alvo de otimização nem revelam uma necessidade significativa de utilização, justificando as opções tomadas.

Como já foi referido, os giros efetuados pelas patrulhas são o exemplo mais paradigmático e constituem por si só um fundamento de aplicação.

A falta de recursos humanos e materiais constitui uma subtração à necessidade de fazer mais com menos, de otimizar um processo que é comumente extensível a todos os PTer e de reduzir custos de transporte, não inviabilizando um policiamento de proximidade, o alcance a toda a população e o aumento do sentimento de segurança. Esta realidade reforça a necessidade de ter um planeamento⁷⁹ que retire o máximo partido dos recursos disponíveis.

⁷⁸ A discussão dos resultados é baseada na reconstrução do discurso a partir de uma lógica de interpretação, visando obter conclusões sobre o objeto de estudo (Sarmiento, 2013, p. 62).

⁷⁹ Com base em históricos criminais e sinistrais, cartas de situação atualizadas, análise de *hotspots* e dados disponíveis no SIIOP – G (Temas) (ver Apêndice G).

Relativamente ao Núcleo de Investigação Criminal (NIC) não se torna pertinente a aplicação ou resolução de um problema de otimização de rotas, pois os militares resolvem e atendem a um conjunto de ocorrências, denúncias e fiscalizações inopinadas e imprevisíveis, pelo que não existem “pontos fixos” por onde devem passar, como o caso dos giros efetuados pelas patrulhas nos PTER.

Quanto ao Núcleo de Proteção do Ambiente (NPA), visto que o serviço, na sua maioria, deve-se à resolução de denúncias “SOS Ambiente”, os militares podem planear os giros para um dia de trabalho. Assim, face à localização das denúncias, pode-se rentabilizar o serviço da patrulha.

No caso da Secção de Programas Especiais (SPE)⁸⁰, mais concretamente no Núcleo Escola Segura (NES), apenas se torna relevante uma otimização de rotas, nomeadamente, no que concerne à distribuição e recolha de exames nacionais a cada PTER, gerando uma rota fixa e igual para as demais entregas.

Quanto à distribuição que é realizada dos PTER a cada escola da sua ZA, não existe uma necessidade significativa de otimização pois, no máximo, existem duas escolas para se proceder à entrega de exames⁸¹. Para o Núcleo Idosos em Segurança (NIS) e Núcleo Comércio Seguro (NCS), por ser efetuada a visita aos idosos⁸² e patrulhamento realizado junto a zonas e áreas comerciais, feiras e/ou mercados municipais⁸³ da ZA, torna-se interessante a aplicação de otimização de rotas a estes núcleos.

⁸⁰ As SPE são constituídas por Núcleos: NES; NIS; e NCS (GNR, 2016a). Atualmente, existem 81 SPE dispersas por todo o país, sendo compostas em exclusividade por 338 militares (GNR, 2016a). As SPE dependem organicamente dos DTER e recebem orientação técnica da Repartição de Programas Especiais (RPE) (GNR, 2016a). Existe ainda um Oficial responsável pelos Programas Especiais por distrito (dezoito) e um Chefe da SPE (81), podendo este, atualmente, ser da categoria de Oficiais ou Sargentos (GNR, 2016a).

⁸¹ Face aos dados recolhidos de 2016, dos 637 estabelecimentos credenciados para a realização das provas e exames do ensino básico e secundário, apenas 11 pertenciam à ZA do DTER de OAZ e dos 256 estabelecimentos credenciados para realização das provas de aferição, apenas 8 pertenciam a esta ZA. Devido ao baixo número de alunos do 1º ciclo existente em cada escola, os mesmos, na sua maioria, realizam a prova na sede do respetivo agrupamento. Por vezes, os PTER distribuem e recolhem os exames nas sedes dos agrupamentos e estes distribuem e recolhem às suas escolas. Estes fatores desmotivam a aplicabilidade e a necessidade da otimização de rotas pela redução dos estabelecimentos de ensino.

⁸² A localização dos idosos não pode ser fornecida, em virtude de se tratar de dados “confidenciais”. Contudo, de referir que atualmente, existem, aproximadamente, 400 idosos sinalizados por toda a ZA, embora exista uma mutação constante deste número.

⁸³ Assim como a localização dos idosos, os dados acerca das zonas e áreas comerciais, feiras e/ou mercados municipais não pode ser fornecida, em virtude de se tratar de informação “confidencial”. Todavia, atualmente, existem cerca de 1.750 pontos referenciados pelo NCS em toda a ZA do DTER de OAZ. Os locais de patrulha são escolhidos conforme a afluência de pessoas, bem com a existência de algum tipo de criminalidade no local ou algo evento específico. Normalmente o patrulhamento ao comércio é potenciado nas épocas festivas, dias de mercado/feiras.

4.3. Fases da Investigação

Após realizado todo o trabalho de campo, são apresentados de seguida os resultados obtidos, conforme as fases referidas por Taha (2008) e Hillier e Lieberman (2013) (Apêndice E).

4.3.1. Definição do problema e recolha de dados

A definição do problema é um passo extremamente importante. O conhecimento profundo e claro do problema é essencial à correta implementação das fases subsequentes, nomeadamente, recolha de dados, modelação e resolução. A partir do DTer de OAZ pretende-se traçar um conjunto de rotas de custo mínimo que visite todos os pontos identificados como sensíveis.

Para consumir com êxito este propósito foram necessários dados de qualidade, reais e credíveis para dar sustento e seguimento ao trabalho. Neste sentido, os dados recolhidos referem-se à área que cada PTer tem à sua responsabilidade e respetiva caracterização demográfica, ao estado das viaturas e dotação anual de combustível, aos patrulhamentos efetuados, aos pontos sensíveis (*hotspots*)⁸⁴ que cada Cmdt considera nos giros diários, a forma de planeamento e elaboração dos mesmos e, ainda, restrições impostas pelo problema em questão. Assim sendo, é importante referir que, da recolha de dados efetuada, obtiveram-se 252 *hotspots* extensíveis por 751,1 Km² e, em média, são patrulhados 8 pontos sensíveis por giro (Apêndice F).

4.3.2. Formulação do modelo matemático

Segundo Hillier e Lieberman (2013, p. 11), “uma etapa crucial na formulação de um modelo de IO é a construção da função objetivo”. Esta fase reflete a essência do problema, no qual são expostas as restrições, variáveis de decisão, parâmetros⁸⁵ e a própria função objetivo (Hillier & Lieberman, 2013). Deste modo, é construída a formulação matemática

⁸⁴ O levantamento destes dados consistiu, não só na recolha de cada ponto (visual ou através de morada), mas também, na transformação da mesma em coordenada geográfica (graus decimais [DD]), compatível com as ferramentas a utilizar para posterior registo. A localização de cada ponto é de carácter reservado, bem como o número de pontos efetuados em cada giro.

⁸⁵ As constantes “nas restrições e na função objetivo são denominadas parâmetros do modelo” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 10).

do modelo com uma apresentação descritiva do mesmo, para posterior resolução do problema em causa.

De uma forma geral e como referido em 1.2., com a otimização de rotas pretende-se maximizar ou minimizar uma determinada função objetivo, sujeita a restrições que condicionam as variáveis a utilizar.

As formulações aqui apresentadas seguem uma notação comparável à usada por Barreto (2004) para modelar Problemas de Localização-Distribuição com Capacidade (PLD)⁸⁶. São apresentadas em PLI (ou binária) e os modelos são compostos por uma função objetivo, à qual estão associadas restrições⁸⁷ (Barreto, Ferreira, Paixão & Santos, 2007).

Assim sendo, define-se $G = (V, E)$ como um grafo completo não direcionado, onde $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ é um conjunto de vértices e $E = \{(i, j): i, j \in V, i < j\}$ é um conjunto de arestas.

Sem perda de generalidade, o vértice 0 representa um depósito ou CA, que serve de base a m veículos idênticos e de igual capacidade Q . Os restantes vértices $i \in V \setminus \{0\}$ representam locais de visita, pontos de recolha ou simplesmente clientes, cada um com uma procura não negativa $q_i \leq Q$. A procura q_i pode representar uma encomenda ou um conjunto de pessoas a visitar ou a evacuar, dependendo da aplicação em causa.

A cada veículo é associado um tempo máximo de giro T , igual para todos, sendo o tempo de visita a cada cliente $i \in V \setminus \{0\}$ denotado por $t_i \leq T$.

Define-se em E a matriz $C = \{c_{ij}: (i, j) \in E\}$, não negativa, representativa do custo de atravessar cada aresta. Dependendo da realidade subjacente, o custo pode significar a distância (em geral, o custo é função da distância percorrida⁸⁸), a população ao longo da aresta, o tempo de percurso ou até o grau de exposição ao perigo ao percorrer uma aresta.

O VRP consiste em projetar um conjunto de m rotas de menor custo total, cada uma com partida e término no depósito, de tal forma que cada cliente seja visitado exatamente uma vez por um veículo e que a procura total e duração total de qualquer rota não exceda Q e T respetivamente.⁸⁹

⁸⁶ Os PLD são construídos a partir de 2 problemas de otimização combinatória (Problema de Localização-Afetação [PLA] e PCV ou TSP) (Barreto, 2004). Têm como característica principal a localização de CA e construção de rotas de distribuição, a partir de CA instalados, ou seja, simultaneidade de duas decisões (Barreto, 2004).

⁸⁷ Consideram-se todas as funções como lineares e as variáveis como inteiras ou simplesmente binárias (Barreto, 2004).

⁸⁸ Para representação teórica, normalmente, utiliza-se a distância euclidiana. (“métrica euclidiana que goza da propriedade da desigualdade triangular” (Barreto, 2004, p. 102)).

⁸⁹ Para o caso em concreto, considera-se que a capacidade do depósito, em número de veículos, é suficiente para servir todos os pontos de visita. Para todos os efeitos, cada veículo é associado a uma rota e vice-versa.

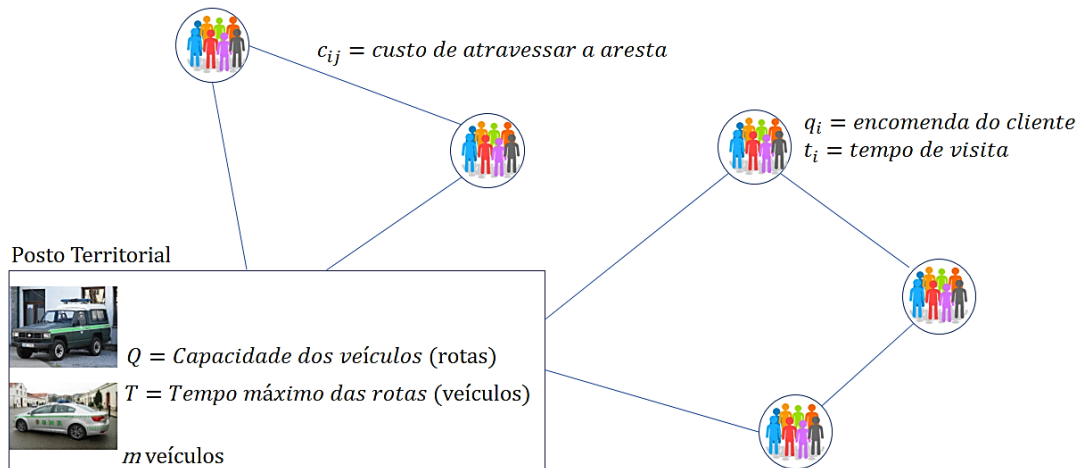


Figura n.º 1 – Esquema dos vários elementos constituintes do modelo construído

Fonte: Elaboração Própria⁹⁰

Apresenta-se de seguida a formulação em PLI do modelo clássico de VRP (CVRP), onde, para cada aresta $(i, j) \in E$, é definida a variável inteira x_{ij} , representativa do número de vezes que a aresta é percorrida na solução.

$$x_{ij} = \begin{cases} 2 & , \text{se a aresta } (i, j) \text{ é percorrida duas vezes durante a rota} \\ 1 & , \text{se a aresta } (i, j) \text{ é percorrida uma vez durante a rota} \\ 0 & , \text{caso contrário} \end{cases}$$

(CVRP)

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

⁹⁰ Fonte das imagens: motor de busca Google®.

Sujeito a:

$$\sum_{(j,i) \in E, j \neq 0} x_{ji} + \sum_{(i,j) \in E} x_{ij} = 2, \quad i \in V \setminus \{0\}, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} x_{0i} = 2m, \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S, i < j} x_{ij} \leq |S| - \max \left\{ \left\lceil \frac{\sum_{i \in S} q_i}{Q} \right\rceil, \left\lceil \frac{\sum_{i \in S} t_i}{T} \right\rceil \right\}, \quad S \subseteq V \setminus \{0\}, |S| > 1 \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1,2\}, \quad (i,j) \in E \quad (5)$$

A função objetivo representa o custo total de todas as rotas (1).

As restrições (2) estabelecem o grau em cada vértice, ou seja, estipulam que cada cliente é visitado exatamente uma vez. A restrição do grau de depósito (3) significa que são criadas exatamente m rotas, cada uma com uma aresta de saída e uma de entrada em CA. É de notar que o problema apenas admite soluções admissíveis se o número de rotas m (ou de veículos) cumprir a seguinte condição: $m \geq \max \left\{ \left\lceil \frac{\sum_{i \in V \setminus \{0\}} q_i}{Q} \right\rceil, \left\lceil \frac{\sum_{i \in V \setminus \{0\}} t_i}{T} \right\rceil \right\}$. Desta forma, é possível substituir m por um parâmetro minimalista.

As restrições de subciclos (4) cumprem vários objetivos. Desde logo, impedem a existência de sub-rotas não apoiadas no CA. Além disso, garantem que todas as rotas respeitam o limite de capacidade dos veículos Q e também o limite de tempo T . Finalmente, surgem as restrições (5) a respeito da definição prévia das variáveis x_{ij} . Neste caso, admite-se que o veículo possa realizar uma rota que visita um único cliente (Cordeau et al., 2007).

As restrições (4) são construídas a partir das partes de um conjunto $S \subseteq V$, cujo número cresce exponencialmente com o número de clientes V^{91} . Desta forma, o elevado número de restrições (4) impede a resolução de problemas de elevada dimensão e contribui decisivamente para a classificação dos CVRP como sendo *NP-hard*, ou seja, é pouco provável que venham a existir algoritmos que resolvam este tipo de problemas em tempo polinomial da sua dimensão⁹². Por este motivo a abordagem à resolução destes modelos tem

⁹¹ Se a cardinalidade do conjunto V é n , a cardinalidade do conjunto S das partes de V é 2^n .

⁹² Em concreto, este modelo admite $2^n - n - 1$ restrições do tipo (4).

sido essencialmente heurística, procurando encontrar algoritmos que forneçam boas soluções admissíveis em tempo útil.

4.3.3. Derivação de soluções com base no problema

Após a formulação do modelo matemático, a próxima fase contempla o desenvolvimento de um procedimento⁹³ com o intuito de gerar soluções para o problema em causa (Hillier & Lieberman, 2013). Nesta investigação, utilizaram-se diversas ferramentas de forma a gerar soluções, comparando-as e verificando, posteriormente, qual a que mais se aproximava do ótimo ou que mais vantagens trará à GNR. Assim, o modelo matemático foi resolvido através da heurística de CW, executado na plataforma *OptiMap* e, ainda, adaptado e implementado ao/no *Software LORE*[©] e *ArcMap*[®], através da extensão *Network Analyst*.

4.3.4. Teste ao modelo

Nesta fase executaram-se dois tipos de teste. Primeiramente, foi realizado um teste preliminar, com o intuito de verificar a consistência da função objetivo, as restrições e a existência de falhas de construção. Seguidamente, efetuaram-se testes a dois giros aleatórios de dois PTER: um giro com 5 pontos sensíveis e outro giro com 10 pontos sensíveis. Desta forma, conseguiu-se realizar uma análise de sensibilidade com a alteração desta variável. Os procedimentos executados, em ambos os casos, foram semelhantes. Para cada teste, utilizaram-se quatro cenários distintos, correspondentes a cada uma das ferramentas empregues. De realçar que, durante a fase de testes, não houve problemas significativos. Houve, contudo, a necessidade de adaptar o modelo construído às ferramentas utilizadas, nomeadamente, nas variáveis empregues, como sendo a ausência de capacidade das viaturas, a inexistência de vários depósitos (entenda-se centros de ação/PTer) e de encomendas/procura/tempo despendido por parte de cada ponto de visita. Verificou-se que, face às restrições impostas pelo problema em causa, o modelo gera resultados que se coadunam com a realidade atual. De seguida, são explicados, detalhadamente, os testes⁹⁴ executados, apresentando-se, ulteriormente, as principais vantagens e desvantagens de cada ferramenta testada.

⁹³ Normalmente baseado em computador (Hillier & Lieberman, 2013).

⁹⁴ Os testes foram executados em computador, em ambiente real e não em ambiente de programação. Modelo: ASUS – K52F. Processador: Intel® Core™ i3 350M. Memória RAM: 4GB. Com exceção da figura n.º 2, todas as restantes figuras e tabelas referidas neste subcapítulo (4.3.4.) encontram-se no Apêndice I.

4.3.4.1. Teste preliminar

Para realização deste teste foi empregue um exemplo de giro com 5 pontos de destino e recorreu-se ao suplemento Solver do *Microsoft Office Excel* para execução do cálculo numérico. O teste preliminar consistiu na introdução da função objetivo, ou seja, da minimização de custo no percurso da(s) rota(s), função das distâncias entre todos os pontos, inclusive do CA. Incluíram-se ainda as restrições impostas, sendo o limite de grau 2 em cada ponto de visita, grau duplo do número de rotas no CA e impedimento da formação de subciclos sem ligação ao CA ou com excesso de capacidade e/ou tempo. Após realização de todos os procedimentos, verificou-se que a formulação matemática cumpre todos os critérios estipulados, permitindo obter soluções ótimas para as instâncias testadas. Confirma-se, assim, que o modelo se encontra devidamente construído, podendo de seguida ser testado nas ferramentas propostas.⁹⁵

4.3.4.2. Heurística de Clarke e Wright

Para o problema em causa, optou-se pela versão paralela (Apêndice H) e foram incluídos, como dados iniciais, o número de veículos a efetuar o giro e as coordenadas de todos os pontos (entenda-se o P_{Ter} e os pontos sensíveis). De seguida, foi elaborado um grafo ponderado, com a representação de todos os pontos numerados e respetivas $n - 1$ rotas iniciais no qual resultou numa tabela com distâncias entre todos os pontos do grafo⁹⁶ (Figuras n.º 27 e 28). De seguida, foi criada uma matriz de distâncias (Tabela n.º 11) e, através dela, procedeu-se ao cálculo das poupanças. Feita a ordenação decrescente destas, iniciaram-se as iterações do algoritmo, tendo resultado numa distância total de 20.810 metros com a rota P_{Ter}-3-2-4-5-1-P_{Ter} (Tabela n.º 12). Visualmente, pode-se verificar o resultado na figura n.º 29⁹⁷.

Os procedimentos utilizados para o giro com 10 pontos foram semelhantes ao explanado acima (Figuras n.º 30 e 31 e Tabela n.º 13). Após as iterações, obteve-se uma

⁹⁵ Ver figuras n.º 25 e 26.

⁹⁶ Inicialmente, foi elaborada uma tabela de dupla entrada (através do *Microsoft Office Excel*) com as distâncias entre todos os pontos recorrendo ao *Google Maps*. Contudo, as distâncias geradas não eram precisas. Para colmatar este facto, os pontos foram introduzidos no *ArcMap*[®] e gerada uma Matriz de distâncias Origem-Destino (OD). O solucionador de matriz de custos não produz, visualmente, rotas reais, contudo os valores armazenados na tabela de atributos refletem a distância da rede (real) e não a distância euclidiana (ESRI, 2016d).

⁹⁷ Obtido em *Microsoft Office Excel*.

distância total de 7.394 metros com a rota PTer-10-8-7-6-5-4-1-2-3-9-PTer (Tabela n.º 14). Visualmente, pode-se verificar o resultado na Figura n.º 32.

4.3.4.3. *OptiMap*

Quanto à plataforma *OptiMap* (Apêndice H), foi necessário introduzir as coordenadas de todos os pontos que, neste caso, contemplam os 5 pontos sensíveis e o PTer. De referir que, para a resolução do modelo, ao PTer foi atribuído o número 1 e para cada ponto sensível, foi dada a continuação desta numeração até 6. Da resolução resultou uma distância total de 25.000 metros com a rota PTer-3-2-4-5-1-PTer (Figura n.º 33).

Da mesma forma, executaram-se os procedimentos para o giro com 10 pontos em que a numeração se estende até ao número 11. O resultado final é de 7.965 metros com a rota PTer-2-1-3-4-5-6-7-10-8-9-PTer (Figura n.º 34).

4.3.4.4. *LORE*®

No caso do *software LORE*® (Apêndice H), foram registados, como dados de entrada, as coordenadas dos 5 pontos sensíveis (C) e do PTer (D) e, ainda, o registo de um veículo que executa o respetivo giro. Importa referir que, devido à génese do *LORE*® como ferramenta para a resolução de problemas de roteamento capacitado, foi necessário atribuir a cada ponto o valor de 1 e, na capacidade do veículo, o valor de 5 (correspondente à soma dos pontos sensíveis). Outro aspeto importante é o facto de as distâncias entre pontos se apresentarem em coordenadas geográficas decimais. A função objetivo representa a soma das distâncias percorridas nas rotas.

Após registo de entradas dos dados e construção do grafo, aplicaram-se quatro algoritmos para solucionar o problema (Figura n.º 35). O resultado final apresenta a sequência numérica da rota (PTer-1-5-4-2-3-PTer), o tempo de execução para cada algoritmo (média de 0,6 segundos) e o valor da função objetivo valor de, aproximadamente, 0,16 (Figura n.º 36). Após gerada esta solução, foi necessário proceder à conversão do valor para metros.⁹⁸ Assim, o valor apresentado corresponde a uma distância euclidiana de 13.469

⁹⁸ Através de seis pontos aleatórios levantados da matriz de distâncias do *LORE*®, recorreu-se ao *Google Maps* para medir as distâncias euclidianas entre esses pontos. Deste modo, chegou-se à conclusão que o valor 1 no *LORE*®, para este caso, corresponde a uma distância euclidiana de 84.209 metros.

metros e a uma distância real de 20.810 metros.⁹⁹ Analogamente, todo o processo foi executado para o giro com 10 pontos, que resultou num tempo de processamento dos algoritmos de, aproximadamente, 1 segundo (média dos 4) com a rota PTer-2-1-3-4-5-6-7-9-8-10-PTer e num valor da função objetivo de, aproximadamente, 0,06 (Figura n.º 37). Após conversão deste valor apresentado, a distância euclidiana corresponde a 5.428 metros e a distância real a 7.017 metros.

4.3.4.5. *ArcMap*®: Extensão *Network Analyst*

Devido às capacidades apresentadas por esta ferramenta, optou-se por testar a camada *Route* e VRP (Apêndice H). Enquanto a camada *Route* procura a melhor rota para um determinado veículo, a camada VRP encontra um ou mais percursos (face a restrições impostas), podendo incluir vários veículos.

De uma forma sucinta, a análise de resultados decorrente da representação gráfica em mapas é obtida a partir da georreferenciação de um conjunto de elementos, incluindo pontos, linhas, polígonos e informação *raster*.¹⁰⁰ Para a elaboração da base de trabalho nesta ferramenta utilizou-se o *ArcCatalog*. Assim, com o intuito de organizar todos os dados geográficos necessários, foi criada uma base de dados (*geodatabase* (Rede_viária.gdb)) e, de seguida, uma *feature dataset* (Rede_DTer_OAz) para agrupar as várias *feature classes*.

Inicialmente, para reunir todos os dados essenciais à resolução do problema, houve necessidade de obter uma rede viária segmentada e referenciada. Como tal, visto que os vários municípios não dispunham de uma rede completa¹⁰¹, extraiu-se uma rede viária de Portugal continental¹⁰² e, posteriormente, selecionou-se apenas a área de interesse (Área _DTer_OAz).¹⁰³

⁹⁹ Através da Matriz de distâncias OD do *ArcMap*® e com base na sequência apresentada, foram levantados os valores das distâncias.

¹⁰⁰ Para cada elemento, é criado em *ArcMap*® uma classe de elementos (*feature class*), no qual se pode agrupar elementos semelhantes (*feature dataset*) (ESRI, 2016e).

¹⁰¹ OAz apenas possui, no seu portal geográfico, o acesso ao mapa do concelho através do serviço *Web Map Services* (WMS) e *Web Feature Service* (WFS). Cfr. <http://portalgeografico.cm-oaz.pt:8008/mapguide/osgeonw/>, disponível em 1 de março de 2017, às 17h e 20m.

¹⁰² A rede viária de Portugal Continental constitui uma *feature class* do tipo linha. Através de <http://download.geofabrik.de/europe.html>, disponível em 3 de março de 2017, às 17h e 20m (*shapefile* designada de *gis.osm_roads_free_1.shp*) (Geofabrik, 2016). Os dados fornecidos derivam do diretório OpenStreetMaps, no qual contempla informação cartográfica atualizada e variada. Esta base é também utilizada no Centro de Informação Geoespacial do Exército (CiGeoE).

¹⁰³ Devido à vasta área da rede (mais de 700.000 segmentos), o tempo de processamento é bastante longo pelo que, através da Carta Administrativa de Portugal – versão 2016 (Direção-Geral do Território, 2017), extraiu-se (através da ferramenta *clip* do *ArcToolBox*) a área administrativa afeta aos concelhos do DTer de OAz (*feature class* do tipo polígono) e com a ferramenta *intersect* do *ArcToolBox* retiraram-se as vias pertencentes

De seguida, foi criada uma *Network Dataset* (Teste_ND)¹⁰⁴ com o objetivo de estabelecer a conectividade entre os atributos e segmentos da rede viária e, para que, neste caso, as camadas *Route* e *VRP* encontrem soluções ao problema (Figura n.º 2).

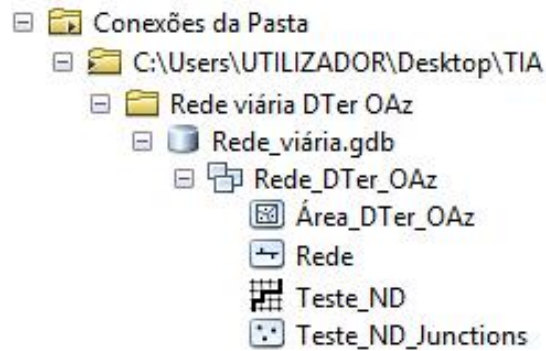


Figura n.º 2 – Ligação de todos os dados do problema em ambiente *ArcCatalog*

Fonte: *ArcCatalog*

A partir deste ponto, e, após carregamento da *Network Dataset* em *ArcMap*[®], a extensão *Network Analyst* passa ao estado “ativo”, permitindo libertar as camadas *Route* e *VRP*.

De seguida, começando pela camada *Route* introduziram-se as coordenadas dos 5 pontos sensíveis e do PTer, conservando este como o início e o fim da rota gerada (Figura n.º 39). No final, o total de comprimento da rota foi de, aproximadamente, 20.810 metros, com a mesma sequência apresentada em 4.3.4.2. e 4.3.4.3. (Figura n.º 40). Para o caso do giro com 10 pontos, o procedimento foi semelhante¹⁰⁵, gerando uma rota (PTer-10-9-8-7-1-2-3-4-5-6-PTer) de, aproximadamente, 6.718 metros (Figura n.º 41).

Passando agora para a camada *VRP*, após a introdução das respetivas coordenadas (5 pontos sensíveis e PTer) (Figura n.º 42), o algoritmo gerou a mesma rota registada na camada *Route* (Figura n.º 43). No teste efetuado com 10 pontos, procedeu-se de igual forma, com o registo de todos os pontos no grafo. Assim, mais uma vez, o *software* apresentou o mesmo

à área de interesse. A rede viária contempla um conjunto de atributos, nomeadamente o atributo *ONEWAY*, que refere o sentido de cada segmento da via (Figura n.º 38).

¹⁰⁴ Conjunto de dados de rede que agregam os dados contidos nas *features classes*, sendo essenciais para modelar as redes de transporte e efetuar análises posteriores. A criação foi efetuada em *ArcCatalog*, em que foram gerados mais duas *feature classes*, incorporados na *feature dataset* (Teste_ND e Teste_ND_Junctions (garante a navegação na rede)).

¹⁰⁵ Apenas se alteraram os ícones das localizações dos pontos em estudo.

resultado que a camada *Route* (Figura n.º 44), constituindo a solução mais eficiente de entre os quatro cenários testados.

4.3.5. Preparação de aplicação do modelo

Decorridos os testes e feita a validação do modelo, pode-se afirmar que este está pronto a ser utilizado regularmente. Contudo, a aplicação de um sistema que abarque todo o dispositivo territorial pode incluir um longo período de instalação. Parte deste esforço envolve o desenvolvimento e a implementação de um processo para manutenção do sistema, tendo em conta a sua utilização futura (Hillier & Lieberman, 2013). Existem questões que por vezes e por motivos de força maior, influenciam as tomadas de decisão. Qual o valor inicial de investimento? Quais os custos futuros? Será rentável a curto, médio e/ou longo prazo? Todo o esforço aplicado no trabalho de campo realizado, tendo em vista o melhor para a instituição, encontra-se demonstrado nos resultados suprarreferidos. Face às soluções encontradas, sugere-se como proposta de implementação, a ferramenta *LORE*® e *ArcMap*®.

4.3.6. Implementação

Para esta investigação pretende-se a construção de rotas eficientes, com o intuito de, por um lado, reduzir custos à GNR e, por outro, intensificar a sua presença nos pontos mais sensíveis das áreas de cada PTer. Assim, concluída a fase de preparação de aplicação do modelo, esta etapa será realizada após parecer favorável das chefias responsáveis pela implementação de aplicações e sistemas de apoio à decisão no dispositivo territorial.

4.4. Análise e discussão de resultados

Após explanados os resultados, segundo a metodologia apresentada por Taha (2008) e Hillier & Lieberman (2013), apresenta-se de seguida a Tabela n.º 1, que resume e compara por fatores as soluções encontradas em cada cenário e a Tabela n.º 2¹⁰⁶, na qual são avaliadas as várias ferramentas, tendo em conta os parâmetros “versatilidade” e “resultados”.

¹⁰⁶ Para alguns fatores foi utilizada uma escala com ponderação de 1 a 5 para se tornar mais intuitiva a interpretação dos dados apresentados.

Tabela n.º 1 – Resultados finais de cada cenário

Fator	Giro (nº de pontos)	Heurística de CW	Optimap	LORE®	ArcMap®	
					Route	VRP
Forma de incorporação de pontos	5 e 10	Matriz de distâncias OD - distâncias reais ¹⁰⁷	Coordenadas ¹⁰⁸ ou morada	Coordenadas	Coordenadas ou morada	Coordenadas ou morada
Tempo de execução dos algoritmos (segundos)¹⁰⁹	5	125	5	0,6	6	6
	10	190	6	1	8	8
Sequência do giro	5	PTer-3-2-4-5-1-PTer	PTer-3-2-4-5-1-PTer	PTer-1-5-4-2-3-PTer	PTer-3-2-4-5-1-PTer	PTer-3-2-4-5-1-PTer
	10	PTer-10-8-7-6-5-4-1-2-3-9-PTer	PTer-2-1-3-4-5-6-7-10-8-9-PTer	PTer-2-1-3-4-5-6-7-9-8-10-PTer	PTer-10-9-8-7-1-2-3-4-5-6-PTer	PTer-10-9-8-7-1-2-3-4-5-6-PTer
Distância real (metros)	5	20 810	25 000	20 810 ¹¹⁰	20 810	20 810
	10	7 394	7 965	7 016 ¹¹¹	6 718	6 718
Forma de apresentação dos resultados	5 e 10	Grafo euclidiano com distâncias reais ¹¹²	Grafo com distâncias reais	Grafo euclidiano com distâncias geográficas	Grafo com distâncias reais	Grafo com distâncias reais

Fonte: Elaboração Própria

¹⁰⁷ Ou ainda através do *Google Maps*.

¹⁰⁸ Apenas coordenadas decimais (DD).

¹⁰⁹ O tempo de processamento é variável consoante o tipo de *hardware* utilizado. O método *savings*, da heurística de CW, é elaborado manualmente.

¹¹⁰ Distância euclidiana: 13.469 metros.

¹¹¹ Distância euclidiana: 5.428 metros.

¹¹² Opcional por parte do utilizador.

Tabela n.º 2 – Avaliação geral de cada cenário

Parâmetro	Fator	Subfator	Ponderação	Significado da ponderação	Heurística de CW	Optimap	LORE®	ArcMap®	
								Route	VRP
Versatilidade	Introdução, edição e/ou eliminação de dados	Novos pontos (origem e destino)	Sim, Não	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		Viaturas	Sim, Não	-	Sim	Não	Sim	Não	Sim
		Restrições de vias e/ou zonas de rotas	Sim, Não	-	Não	Não	Não	Sim	Sim
	Escolha de modelo e algoritmo		Sim, Não	-	Não	Não	Sim	Não	Não
	Representação de restrições reais	Capacidade nas viaturas	Permite, Não permite	-	Permite	Não permite	Permite	Não permite	Permite
		Apenas 1 ponto de origem	Sim, Não	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		Mesmo ponto de origem e de chegada	Sim, Não	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		Alteração manual da sequência	Sim, Não	-	Não	Não	Sim	Não	Sim
	Intuição da <i>interface</i>		1 a 5	Pouca intuitiva - Muito intuitiva	-	5	4	4	4
	Interpretação		1 a 5	Muito difícil - Muito fácil	3	5	3	5	5
Resultados	Distância		Euclidiana, Real	-	Real	Real	Euclidiana	Real	Real
	Tempo	Incorporação de dados	1 a 5	Muito difícil - Muito fácil	2	5	3	4	4
		Execução do algoritmo	1 a 5	Muito lento - Muito rápido	1	4	5	4	4
	Visualização gráfica da rota gerada		Sim, Não	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Exportação da solução		Sim, Não	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaboração Própria

Assim, em primeiro lugar e para uma melhor interpretação, são analisados e discutidos os resultados da Tabela n.º 1 e, posteriormente, feita uma descrição avaliativa da Tabela n.º 2, mencionando as principais vantagens e desvantagens encontradas em cada cenário.

Da análise da Tabela n.º 1 observa-se que, pela forma como são introduzidos os dados, o método das poupanças é o que apresenta maior dificuldade, pois torna-se necessário recorrer a fontes externas para converter as coordenadas dos pontos sensíveis em distâncias (reais ou euclidianas). Em qualquer uma das outras ferramentas pode-se introduzir dados através de coordenada ou morada, contudo, o *OptiMap* apenas aceita coordenadas em formato decimal.

Quanto ao tempo de execução dos algoritmos, importa salientar que o número de pontos de visita é uma variável que tem um peso substancial. Comparativamente com as restantes ferramentas, observa-se que o *LORE*® apresenta um menor tempo de processamento, devido ao facto de, criada a matriz de distâncias, apenas combinar os pontos mais próximos através de distâncias euclidianas. Já o *OptiMap* e o *ArcMap*®, para além desta função, têm a capacidade de “desenhar” o percurso real, unindo os segmentos das vias com a restrição dos sentidos que cada um apresenta. O método das poupanças, já com alguns anos e exigindo, neste caso, interação com o utilizador, não rivaliza com os demais em termos de rapidez de processamento. Por este facto e neste contexto comparativo, torna-se uma desvantagem visível. Pode-se referir ainda que o *LORE*® é o único que apresenta, visualmente, o tempo de processamento decorrido. Nos restantes cenários, recorreu-se a um cronómetro para recolha destes dados.

A sequência apresentada em cada cenário reflete-se na distância total percorrida em cada giro. Assim, no giro com 5 pontos e em todos os cenários, existe uma ordenação idêntica par-a-par, embora o *LORE*® apresente uma sequência inversa comparativamente a todas as outras. Ao contrário do exemplo anterior, no giro de 10 pontos, são apresentadas várias sequências. Constata-se que, quanto maior a variável do número de pontos a visitar, mais díspares se tornam as soluções.

Analisando as distâncias, no seguimento das sequências apresentadas, observa-se que o *OptiMap* aponta o cenário menos vantajoso. Neste caso, a ferramenta não indica a distância mínima ponto a ponto, escolhendo outro percurso, apesar da sequência ser idêntica em outros

cenários. Por outro lado, em *ArcMap*[®], tanto o *Route* como o VRP, expõem uma menor distância, apresentando-se como uma ferramenta bastante proficiente.¹¹³

Respondendo à questão: “depois de obtida a solução de que forma é possível ser visualizada?”, com a exceção das representações obtidas em *OptiMap* e *ArcMap*[®], que facultam grafos com distâncias reais “traçadas” em mapa, o *LORE*[®] apresenta de forma automática um grafo com distâncias euclidianas e o método *savings* pode também apresentar, sendo um procedimento opcional do utilizador.

Passando agora para a avaliação geral de cada cenário (Tabela n.º 2) e começando pelo parâmetro da “versatilidade”, observou-se, durante a fase de testes, que todas as ferramentas permitem a introdução, edição e/ou eliminação de novos pontos (origem e destino). Contudo, ressalva-se o facto de, ainda que não significativo, apenas a heurística de CW, o *LORE*[®] e a camada VRP do *ArcMap*[®] permitem adicionar mais de uma origem, neste caso PTer. No entanto, não é um fator limitativo para este estudo. Todas as ferramentas permitem a introdução de novos pontos de destino, mesmo depois de encontrada a solução, por um reprocessamento e renovação da rota gerada. O *OptiMap* e a camada *Route* do *ArcMap*[®] não permitem a possibilidade de introduzir viaturas utilizadas para a execução do giro, pois são ferramentas criadas para a resolução de TSP e não de VRP (ao contrário das restantes ferramentas). Como tal, apenas otimizam as rotas, tendo em conta os pontos de visita de apenas uma origem e com uma viatura. Em *ArcMap*[®] foi possível observar e testar que, devido às capacidades desta ferramenta, pode-se adicionar e, posteriormente, editar e remover restrições de vias e/ou zonas de rotas. Através da opção de barreiras de ponto, linha ou polígono, é possível restringir determinada via ou área, forçando a respetiva camada (*Route* ou VRP) a criar um outro percurso pelo grafo.

Os vários cenários aqui retratados constituem não só, instrumentos pré-programados, mas também ferramentas concebidas para resolução de problemas específicos. A sua adaptação aos problemas reais, por vezes, torna-se um pouco limitativa, no sentido em que não é possível escolher o modelo e/ou algoritmo a ser utilizado. No entanto, o *LORE*[®] é uma exceção. Para este caso em concreto, ao seleccionar-se a opção VRP, pode-se escolher um dos quatro algoritmos disponíveis, apesar das quatro soluções serem experimentalmente idênticas.

Um fator muito importante para a aplicabilidade das ferramentas no dispositivo territorial prende-se com a representação de restrições reais. Após levantadas estas restrições

¹¹³ Verifica-se que a solução gerada é idêntica, pois neste caso não existem grandes restrições afetas ao problema, como a capacidade de veículos, janelas de tempo.

e testadas nos vários cenários, ainda que não muito relevante para o planeamento dos giros, apenas o *OptiMap* e a camada *Route* não permitem atribuir capacidade às viaturas¹¹⁴. Nos restantes cenários, é permitido associar essa capacidade¹¹⁵. Contudo, para efeitos práticos, na heurística das economias e nas camadas em estudo do *ArcMap*[®], esse fator não esteve presente nos testes executados. No *LORE*[®], como referido acima, foi atribuído o valor da soma de pontos de destino.

Os giros são elaborados por cada PTer e, como tal, em princípio, haverá apenas um ponto de origem (PTer) para elaboração da rota, no qual o PTer será o ponto inicial e final de cada giro efetuado. Assim, em todos os cenários, verificou-se que estes dois fatores são passíveis de serem executados e cumpridos.

Outro fator importante, que representa uma limitação e até por vezes uma obrigação no planeamento de um giro, é o facto de se estabelecer uma ordenação manual par-a-par e/ou vários pares da sequência da rota com uma prioridade superior, ou seja, a patrulha ter de estar presente em determinado local, em janela de tempo específica, e que, de seguida, necessita de se deslocar para outro local, com a mesma restrição. Após observação das potencialidades em cada cenário, foi possível verificar que no *LORE*[®], através da opção “*Fix Acr in Solution*” e antes de ser gerada uma solução, consegue-se fixar a sequência manualmente par-a-par ou com vários pares de pontos de destino. Face a esta opção imposta, o algoritmo gera a sequência ordenada para os restantes pontos, contudo, em detrimento de uma melhor solução (menor distância), caso não se optasse por esta restrição. Com a camada VRP do *ArcMap*[®], também se pode realizar este procedimento através da opção “*Order Pairs*”¹¹⁶.

Nos vários cenários apresentados foi possível testar diversas funcionalidades que contribuem para uma melhor adaptação da ferramenta aos problemas reais. Contudo, essas funcionalidades devem ser intuitivas e práticas, particularmente, quando os conhecimentos sobre as mesmas são escassos. Deste modo, comparativamente com as restantes ferramentas, o *OptiMap* possui a *interface* mais intuitiva, pois revela simplicidade na introdução das coordenadas dos pontos (origem e destino). Podem ser introduzidas várias coordenadas em simultâneo, os campos de introdução de dados e os botões de cálculo são facilmente

¹¹⁴ Para o planeamento da entrega de exames pelos PTer e destes aos Estabelecimentos de Ensino, a capacidade das viaturas constitui um fator significativo, bem como a existência de várias viaturas.

¹¹⁵ A capacidade associada a cada viatura restringe a visita a todos os pontos, forçando a executar mais rotas e a deslocar-se mais vezes ao ponto de origem.

¹¹⁶ Para realização deste procedimento, é necessário preencher os atributos “*FirstOrderName*” e “*SecondOrderName*” com os dados de entrada da primeira e segunda ordem do par, respetivamente.

acessíveis, permitindo obter uma boa visualização gráfica, tanto dos mapas como das rotas geradas. O *ArcMap*® contempla também uma *interface* bastante intuitiva. Apesar das muitas funcionalidades que apresenta e de ser a ferramenta em análise mais completa, não diminui a sua interpretação e acessibilidade às respetivas opções e comandos que comporta. Já o *LORE*® é uma ferramenta simples e apresenta uma *Graphical User Interface (GUI)* bastante compreensível ao utilizador. Com conhecimentos básicos de sistemas de informação, inserem-se os pontos, atribuem-se restrições e escolhem-se os métodos de resolução.

Avaliando o parâmetro “resultados”, pode-se referir que o fator “interpretação” está intimamente ligado à visualização gráfica e à forma de apresentação da solução. Nos cenários em estudo, verifica-se que o *OptiMap* e o *ArcMap*® destacam-se pelo seu grafismo, pois contemplam as soluções em distâncias reais e vários mapas de *zoom* variável. Neste caso, o *LORE*® apresenta distâncias euclidianas, o que diminui a interpretação da solução face ao espaço real. Através do método das economias observa-se que, sendo a parte gráfica uma opção do utilizador, é necessário recorrer a outras fontes para exportar a sequência encontrada.

O tempo despendido para incorporação de dados de entrada e para execução dos algoritmos torna-se o fator de maior peso no planeamento dos giros. Assim, e face ao descrito acima, apenas o método das economias traduz uma desvantagem face aos outros cenários testados. A duração exigida para planeamento é perfeitamente sustentável com o *LORE*®, *OptiMap* ou *ArcMap*®.

Por último e não menos importante, a exportação da solução é um fator a ter em conta para colocar em prática as soluções encontradas. Relativamente à heurística de CW, como referida anteriormente, é necessário recorrer a outras fontes para exportar as soluções. Quanto ao *OptiMap*, também já referido, este apresenta dois tipos de exportação: para *Global Position System (GPS)* (ficheiro *.gpx) e para visualização em *Google Maps*. No caso do *LORE*®, é em tudo igual ao método das economias, pois, apesar de contemplar a parte gráfica, torna-se necessário recorrer a fontes externas. O *ArcMap*® apresenta a opção de exportar o mapa com solução gerada e de ligação a GPS, com configuração prévia, nomeadamente, do sistema de coordenadas geográficas compatível com a projeção do mapa.

Após esta análise, verifica-se que existem ferramentas muito úteis e capacitadas para auxiliar a tomada de decisão. Como o conhecimento não deve ser uma barreira, mas sim uma oportunidade, foi ainda possível realizar duas análises suplementares, com o intuito de responder às seguintes questões: é possível gerar rotas com base na restrição do número de

quilómetros? De acordo com a localização dos PTER e dos *hotspots*, a atual área de responsabilidade de cada PTER está repartida de forma correta?¹¹⁷

Grande parte das investigações sobre otimização de rotas, no âmbito policial, são efetuadas nos EUA. De facto, devido à complexidade de situações decorrentes da realidade norte americana, o desenvolvimento desta temática foi progredindo muito rapidamente. Neste sentido, surgiram novos algoritmos e os métodos heurísticos ganharam um lugar de relevo comparativamente com os métodos exatos.¹¹⁸

Confrontando a análise realizada com os estudos elaborados e descritos na parte teórica, pode-se referir que, à luz da realidade portuguesa, os métodos empregues não têm evoluído tanto quanto desejado, pois, contrariamente ao que ocorre nos EUA, a preocupação com estas matérias ainda é diminuta.

Portugal é um país no qual a GNR tem uma presença maioritariamente ativa em espaço rural, no qual tem um menor fluxo de recursos e meios comparativamente com os EUA e, como tal, a *queuing theory*, o MAP, o MCPRP, o MCLP e outros modelos descritos não trazem uma mais valia significativa à realidade portuguesa. No entanto, alguns estudos apresentados, nomeadamente, por Li et al. (2011) e Kuo et al. (2012), revelam ser benéficos com aplicação prática à GNR.

Atualmente, em SIIOP – G é possível registar e observar os *hotspots* (Apêndice G). Assim sendo, como a GNR possui um servidor ArcGIS, torna-se uma ótima oportunidade para potenciar a gestão de *hotspots* com a criação de rotas eficientes a todo o DTER. À semelhança de Li et al. (2011), poder-se-ia integrar o Getis-Ord Gi*¹¹⁹ com o objetivo de produzir rotas de patrulha ideais e aleatórias, através da gestão de *hotspots* em tempo real, melhorando o desempenho coletivo do serviço de patrulha. Deste modo, propõe-se a aplicação e extensão do ArcMap®, complementando a sua potencialidade com o Getis-Ord Gi*.

¹¹⁷ As respostas encontram-se no Apêndice J.

¹¹⁸ Fruto da complexidade das situações e de um menor tempo de processamento levando à criação de soluções rápidas e práticas.

¹¹⁹ Incluindo protocolos *DDACTS*. Como referido no estudo de Kuo et al. (2012) houve um melhoramento do serviço policial. O Getis-Ord Gi* é compatível com ArcMap® e constitui uma ferramenta da ArcGIS.

4.5. Síntese

Este capítulo teve como principal objetivo apresentar os resultados obtidos, analisar e discutir as soluções encontradas, decorrentes de todo o trabalho empírico realizado, segundo a metodologia acima referida.

Após elaborada a formulação do problema e efetuados os testes ao modelo com um exemplo de 5 pontos, foi possível conduzir uma análise de sensibilidade com a alteração desta variável para 10 pontos. Assim, verifica-se que quanto maior for este valor, mais díspares são as soluções encontradas em diferentes cenários. Por outro lado, também foi possível observar que o *ArcMap*[®], além de ser uma ferramenta muito completa e capacitada, encontrou as melhores soluções e, ainda, propiciou uma fonte de dados, apesar de opcional, relevante para a heurística de CW e para o *LORE*[®].

Todos os instrumentos de apoio à decisão testados refletem a importância da otimização de rotas no contexto de gestão diária. Apresentam-se como soluções válidas e vantajosas, não só, para a redução de custos operacionais, mas também para a melhoria do serviço operacional, extensível a todo o dispositivo territorial.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Introdução

Concretizado o enquadramento teórico e toda a componente prática desta investigação, este capítulo tem como objetivo consumir toda a informação acima descrita e responder à pergunta de partida. Neste sentido, verificam-se as hipóteses previamente definidas, apresentam-se as respostas às perguntas derivadas e, de seguida, à pergunta de partida. Por fim, confirmam-se os objetivos de investigação, expressam-se as principais dificuldades e limitações e propõem-se recomendações e investigações futuras.

5.2. Verificação das hipóteses

De acordo com o exposto em cima, de seguida, são confirmadas ou refutadas as hipóteses de trabalho levantadas.

A **H₁: “as rotas de patrulha são passíveis de ser formuladas matematicamente através de modelos de PLI”**, foi confirmada, segundo os resultados obtidos na formulação do modelo matemático (segunda fase do estudo de IO).

Relativamente à **H₃: “as soluções encontradas acrescentam poupança e valor relativamente às atuais”**, de acordo com os resultados obtidos na definição do modelo e recolha de dados (primeira fase do estudo de IO) e no teste ao modelo (quarta fase do estudo de IO), esta foi confirmada.

Pelos resultados obtidos em três dos quatro cenários testados (quarta fase do estudo de IO), a **H₂: “o tempo de resolução dos modelos é aceitável do ponto de vista prático”** e a **H₄: “as ferramentas informáticas de construção de rotas podem ser usadas no contexto diário”**, foram confirmadas.

5.3. Resposta às perguntas derivadas da investigação

Após verificação das hipóteses, apresentam-se, de seguida, as respostas às perguntas derivadas.

Relativamente à **PD₁**, pode-se referir que, de facto, é possível construir modelos que representem a problemática da construção de rotas eficientes no DTer e respetivos PTers. Através da formulação matemática acima descrita, foi possível definir uma função objetivo, com restrições reais e parâmetros válidos. Os modelos TSP e VRP constituem uma ótima base de fundamentação teórica e prática para a construção do modelo apresentado.

No que diz respeito à **PD₂**, verifica-se que o planeamento da otimização de rotas é aplicável em tempo útil. Apesar da evidência que o planeamento compensa sempre, por vezes, os Cmdts dos PTer não se encontram sensíveis à sua aplicação, utilizando modelos rotineiros, mas já testados. O tempo despendido para incorporação de dados de entrada e para execução dos algoritmos é diminuto, sendo que a duração exigida para planeamento é perfeitamente sustentável com o *LORE*[®], *OptiMap* ou *ArcMap*[®].

Atendendo à **PD₃**, sobre as poupanças e ganhos de eficiência, ficou demonstrado, nos testes ao modelo construído, que os resultados além de serem vantajosos, constituem ferramentas muito úteis e práticas para a tomada de decisão.

Quanto à **PD₄**, verificou-se que é possível usar ou construir algum tipo de ferramenta que possa ser operacionalizada no terreno. Qualquer ferramenta analisada permite apoiar e melhorar as tomadas de decisão. Todavia, face às restrições reais expostas, o *LORE*[®] e o *ArcMap*[®] são aquelas que mais vantagens e valor acrescentam, potenciando mais oportunidades de evolução e integração de outras soluções.

5.4. Resposta à pergunta de partida da investigação

Elaboradas as respostas às perguntas derivadas, encontram-se reunidas as condições para responder à pergunta de partida: **“Podem os modelos de otimização de rotas ser aplicados no DTer de OAz e respetivos PTers com benefícios operacionais e ganhos de eficiência?”**.

A resposta é afirmativa. Os modelos de otimização de rotas abordados nesta investigação podem ser aplicados no DTer e respetivos PTer, com benefícios operacionais e ganhos de eficiência. O modelo construído nesta investigação revela grandes vantagens para a redução de quilómetros percorridos através de um planeamento rigoroso e do registo e

análise de *hotspots*. De facto, o tempo de incorporação de dados e de execução dos algoritmos são bastante curtos e o registo de *hotspots* é atualizado permanentemente. Existe a possibilidade de representar restrições reais, sendo que as *interfaces* são bastante intuitivas.

Deste modo, a aplicação do modelo construído confere vantagens, na medida em que permite a otimização de um processo que é comumente extensível a todos os PTER e a redução de custos de transporte, não inviabilizando um policiamento de proximidade, o alcance a toda a população e o aumento do sentimento de segurança.

5.5. Confirmação dos objetivos de investigação

Após toda a investigação elaborada, considera-se que o objetivo geral e os objetivos específicos propostos inicialmente foram cumpridos. Construíram-se rotas otimizadas e eficientes, foi avaliada a aplicabilidade da otimização de rotas em contexto de gestão diária, apresentaram-se vantagens e formas de criação de valor para a GNR e foram propostas aplicações operacionalizáveis.

5.6. Dificuldades e limitações da investigação

Durante esta investigação surgiram algumas dificuldades e limitações. Por se tratar de um tema inovador na GNR, a procura e a definição da metodologia apropriada para esta investigação constituíram uma resistência inicial. Sem nenhuma base de formação prática, foi necessário algum tempo de contacto inicial com as ferramentas utilizadas, especialmente na operacionalização do *ArcMap*®. A recolha exata de todas as coordenadas nem sempre foi linear, pois, por vezes, foi necessária uma dupla confirmação.

5.7. Recomendações e investigações futuras

As abordagens aos problemas de otimização de rotas são diversas pelo facto de ser um tema abrangente a muitas áreas da sociedade (logística, comércio, indústria, gestão, defesa, segurança interna), mas também devido à evolução tecnológica (novos algoritmos, modelos, software e computação avançada) e à rapidez e generalização do conhecimento, que se traduzem num desenvolvimento e descoberta de novas soluções até então não encontradas.

Por um lado, como referido anteriormente na análise e discussão de resultados, face às soluções encontradas, existe uma boa oportunidade para incorporar novas ferramentas de trabalho, sugerindo, como propostas de implementação, as ferramentas *LORE*[®] e *ArcMap*[®].

Por outro lado, sendo a GNR portadora de um servidor ArcGIS e visto que em SIIOP – G é possível registar e observar os *hotspots*, recomenda-se a integração do Getis-Ord Gi* com o intuito de produzir giros mais eficientes e fundamentados numa análise mais rigorosa.

Ao longo desta investigação verificou-se que a IO pode ser aplicada em muitas situações, constituindo uma disciplina muito útil para realizar as mais variadas análises, desde a eficiência de procedimentos ao apoio nas tomadas de decisão. Neste sentido, devido à escassez de IO, sugerem-se como investigações futuras o seguinte:

- Possibilidade de adaptação do modelo para cobertura máxima, considerando o custo em cada aresta como sendo representativo da população residente da aresta respetiva e efetuando pequenas alterações do modelo em conformidade;
- Após implementação de algum DSS, analisar as poupanças geradas com a otimização, relativamente ao desgaste dos pneus e consumo de combustível, comparando com o histórico registado;
- Perante a necessidade de encerrar ou abrir PTer, considera-se oportuno realizar análises em diagramas de Voronoi. Visualizando as áreas com maior número de ocorrências, pode ser estudado o local indicado para que o PTer seja instalado ou, encerrando-o, possa ser analisado qual o melhor PTer para ficar responsável por determinada área e os menores efeitos prejudiciais obtidos, quando absorvido por outros PTer. Estes diagramas também são importantes para estabelecer quais as freguesias que devem ficar sob a responsabilidade de determinado PTer. Estes tipos de análises podem ser efetuados através do SIIOP – G (Rádios) no software *QuantumGIS*;
- Elaboração de forma automatizada das escalas de serviço e registo dos serviços remunerados, com recurso a bases de dados e situação do militar à data e, posteriormente, extrair relatórios anuais com número e horas de serviços realizados e situações ao longo do ano (baixa médica, dispensa, diligência, licença e folga).¹²⁰

¹²⁰ De acordo com o artigo 18.º do RGSGNR.

BIBLIOGRAFIA

- Abate, F. R. (1997). *The Oxford desk dictionary and thesaurus*. Oxford University Press.
- Academia Militar – Direção de Ensino (2015). Normas de Execução Permanente (NEP) n.º 520/4ª de 11 de maio. Trabalho de Investigação Aplicada.
- Academia Militar – Direção de Ensino (2016). Normas de Execução Permanente (NEP) n.º 522/1ª de 20 de janeiro. Normas para a Redação de Trabalhos de Investigação.
- Adler, N., Hakkert, A. S., Kornbluth, J., Raviv, T., & Sher, M. (2014). Location-allocation models for traffic police patrol vehicles on an interurban network. *Annals of Operations Research*, 221 (1), 9–31. doi: 10.1007/s10479-012-1275-2.
- Alexandre, S. (2015). SIG - Modelos de análise preventiva e preditiva de fenómenos criminais (Crime Mapping e Geoprofiling). *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75.
- Almeida, A., Ramalho, G., Santana, H., Tedesco, P., Menezes, T., Corruble, V., & Chevaleyre, Y. (2004). Recent Advances on Multi-agent Patrolling (pp. 474–483). doi: 10.1007/978-3-540-28645-5_48.
- American Psychological Association (2010). *Publication manual of the American Psychological Association* (6th ed.). Washington, DC: APA.
- Assembleia da República [AR] (2007). Lei n.º 63/2007 de 6 de novembro: aprova a orgânica da Guarda Nacional Republicana. *Diário da República*, 1ª série, n.º 213, 8043-8051.
- Barreto, S. dos S. (2004). *Análise e Modelização de Problemas de Localização-Distribuição*. Universidade de Aveiro. Acedido a 18 de dezembro de 2016 em <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/1850/1/2009001061.pdf>.
- Barreto, S., Ferreira, C., Paixão, J., & Santos, B. S. (2007). Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 968-977. doi: 10.1016/j.ejor.2005.06.074.
- Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: An overview of formulations and solution procedures. *Omega*. doi: 10.1016/j.omega.2004.10.004.
- Bessa, R. (2015). Resiliência, velocidade e interoperabilidade. *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 18 de março de 2017 em

- <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Birge, J. R., & Pollock, S. M. (1989). Modelling Rural Police Patrol. *Journal of the Operational Research Society*, 40 (1), 41–54. doi: 10.1057/jors.1989.4.
- Bodin, L., & Golden, B. (1981). Classification in vehicle routing and scheduling. *Proc of the Int Workshop on Curr and Future Dir in the Routing and Sched of Veh and Crews*, 11 (2), 97–108. doi: 10.1002/net.3230110204.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*. Elsevier Ltd.
- Branco, C. (2010). *Guarda Nacional Republicana : contradições e ambiguidades*. Edições Sílabo.
- Brito, J. M. R. (2010). *O modelo de polícia dos postos da guarda*. Universidade de Lisboa.
- Bryman, A. (2012). *Social Research Methods* (4ª). Oxford: Oxford University Press.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Acedido a 17 de dezembro de 2016 em <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0022850320&partnerID=tZOtx3y1>.
- Cabral, B. (2015). Editorial. *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 18 de março de 2017 em <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Calvo, R. W., & Cordone, R. (2003). A heuristic approach to the overnight security service problem. *Computers and Operations Research*, 30, 1269–1287. doi: 10.1016/S0305-0548(02)00070-9.
- Camacho-Collados, M., & Liberatore, F. (2015). A Decision Support System for predictive police patrolling. *Decision Support Systems*, 75, 25–37. doi: 10.1016/j.dss.2015.04.012.
- Campos, M. L. T. (2014). *Otimização da recolha de resíduos urbanos: Caso de estudo de Aveiro*. Universidade de Aveiro.
- Çapar, İ., Keskin, B. B., & Rubin, P. A. (2015). An improved formulation for the maximum coverage patrol routing problem. *Computers & Operations Research*, 59, 1–10. doi: 10.1016/j.cor.2014.12.002.
- Carroll, J. M., & Laurin, P. G. (1981). Using simulation to assign police patrol zones. *Simulation*, 36 (1), 1–12. <https://doi.org/10.1177/003754978103600102>.
- Carvalho, J. C., Menezes, J. C. de, Ferreira, L. M. D. F., Carvalho, M. do S., Oliveira, R. C., Azevedo, S. G., ... Dias, J. C. Q. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de*

- Abastecimento*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Carvalho, J. E. (2002). *Metodologia do Trabalho Científico «Saber-Fazer» da investigação para dissertações e teses*. Lisboa: Escolar Editora.
- Casal, J. A. V. (2012). *Vehicle Routing Problems Investigação e construção de um Sistema de Informação Geográfica*. Universidade do Minho. Acedido a 29 de dezembro de 2016 em [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22289/1/João Afonso Vieira Casal.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22289/1/João%20Afonso%20Vieira%20Casal.pdf).
- Chaiken, J., & Larson, R. (1972). Methods for allocating urban emergency units. *Management Science*, 19 (4), 110–130. Acedido a 29 de dezembro de 2016 em <http://hdl.handle.net/1721.1/5337>.
- Chaiken, J. M., & Dormont, P. (1978a). A Patrol Car Allocation Model: Background. *Management Science*, 24 (12), 1280–1290. doi: 10.1287/mnsc.24.12.1280.
- Chaiken, J. M., & Dormont, P. (1978b). A Patrol Car Allocation Model: Capabilities and Algorithms. *Management Science*, 24 (12), 1291–1300. doi: 10.1287/mnsc.24.12.1291
- Chawathe, S. S. (2007). Organizing Hot-Spot Police Patrol Routes. Em *2007 IEEE International Conference in Intelligence and Security Informatics* (pp. 79–86). doi: 10.1109/ISI.2007.379538.
- Chen, H., Cheng, T., & Wise, S. (2015). Designing Daily Patrol Routes for Policing Based on Ant Colony Algorithm. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-4/W2 (July), 103–109. doi: 10.5194/isprsannals-II-4-W2-103-2015.
- Chen, H., Cheng, T., & Wise, S. (2017). Developing an online cooperative police patrol routing strategy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 62, 19–29. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.10.013.
- Chen, X. (2012). Fast Patrol Route Planning in Dynamic Environments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 42 (4), 894–904. doi: 10.1109/TSMCA.2012.2183361.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12 (4), 568–581. doi: 10.1287/opre.12.4.568.
- Cook, S. A. (1971). The complexity of theorem-proving procedures. *Proceedings of the third annual ACM symposium on Theory of computing - STOC '71*. doi: 10.1145/800157.805047.
- Cook, S., & Cook, S. (2000). The P versus NP problem. *Clay mathematical institute; the millennium prize problem*, 3. Acedido a 17 de dezembro de 2017 em

- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.98.358>.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 53 (5), 512–522. doi: 10.1057/palgrave/jors/2601319.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Chapter 6 Vehicle Routing. *Transportation*, 14 (6), 367–428. doi: 10.1016/S0927-0507(06)14006-2.
- Correia, S. (2015). Sistemas de Informação. *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 17 de março de 2017 em <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Curtin, K. M., Hayslett-McCall, K., & Qiu, F. (2010). Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models. *Networks and Spatial Economics*, 10 (1), 125–145. doi: 10.1007/s11067-007-9035-6.
- Curtin, K. M., Qiu, F., Hayslett-McCall, K., & Bray, T. M. (2005). Integrating GIS and Maximal Covering Models to Determine Optimal Police Patrol Areas. *Geographic Information Systems and Crime Analysis*, 214–235. doi: 10.4018/978-1-59140-453-8.ch013.
- Dantzing, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6 (1), 80–91. doi: 10.1287/mnsc.6.1.80.
- De Jaegere, N., Defraeye, M., & Nieuwenhuyse, I. Van. (2014). *The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review*. KU Leuven - Faculty of Economics and Business. Acedido a 23 de dezembro de 2016 em <https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/457452>.
- Demers, S., Palmer, A., Griffiths, C. T., Prox, R. G., Riordan, H., Yedon, C., ... Heard, P. (2007). Vancouver Police Department Patrol Deployment Study. *Canadian Policing Research Catalogue*, 1335. Acedido a 28 de dezembro de 2016 em <http://www.publicsafety.gc.ca/cnt/cntrng-crm/plcng/cnmcs-plcng/rsrch-prtl/dtls-en.aspx?d=PS&i=80202036>.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1 (1), 269–271. doi: 10.1007/BF01386390.
- Dinis, J. C. de B. (2013). *Construção e edição de diagramas de Voronoi na esfera*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Acedido a 27 de março de 2017 em <https://run.unl.pt/handle/10362/11911>.
- Direção-Geral do Território (2017). Carta Administrativa Oficial de Portugal - Versão 2016. Acedido a 4 de março de 2017 em

- http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal__caop_/caop__download_/carta_administrativa_oficial_de_portugal__versao_2016/.
- Doi, S. (2013). Proposal and evaluation of a pheromone-based algorithm for the patrolling problem in dynamic environments. Em *Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on Swarm Intelligence, SIS 2013 - 2013 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, SSCI 2013* (pp. 48–55). doi: 10.1109/SIS.2013.6615158.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Coloni, A., & Dorigo, M. (1991). Positive Feedback as a Search Strategy. *Technical Report 91-016*, (June), 1–20. Acedido a 10 de dezembro de 2016 em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.52.6342>.
- Duchenne, É., Laporte, G., & Semet, F. (2005). Branch-and-cut algorithms for the undirected m-Peripatetic Salesman Problem. *European Journal of Operational Research*, 162 (3), 700–712. doi: 10.1016/j.ejor.2003.09.024.
- Ehrlich, P. J. (1991). *Pesquisa operacional: curso introdutório (7ª)*. São Paulo: Atlas. Acedido a 20 de março de 2017 em http://adx.doctum.edu.br/adx/unidades/vila/bibtec/listagem_dados_livro.php?consulta_externa=1&l_codigo=0000003795.
- Engdahl, G. (2013). About me. Acedido a 20 de março de 2017 em <http://gebweb.net/about/>
- Engdahl, G. (2007). Behind the Scenes of OptiMap. Acedido a 20 de março de 2017 em <http://gebweb.net/blogpost/2007/07/05/behind-the-scenes-of-optimap/>.
- Engdahl, G. (2012a). OptiMap - Fastest Roundtrip Solver. Acedido a 20 de março de 2017 em <http://gebweb.net/optimap/>.
- Engdahl, G. (2012b). OptiMap version 4 is here. Acedido a 20 de março de 2017 em <http://gebweb.net/blogpost/2012/01/25/optimap-version-4-is-here/>.
- ESRI (2016a). ArcGIS Network Analyst. Acedido a 19 de março de 2017 em <http://www.esriportugal.pt/ArcGIS-Network-Analyst>.
- ESRI (2016b). ArcMap. Acedido a 19 de março de 2017 em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>.
- ESRI (2016c). Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*). Acedido a 4 de dezembro de 2016 em <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/hot-spot-analysis.htm>.
- ESRI (2016d). OD cost matrix analysis. Acedido a 22 de março de 2017 em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/od-cost-matrix.htm>.

- ESRI (2016e). Raster basics. Acedido a 23 de março de 2017 em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/raster-basics.htm>.
- Fortin, M.-F. (2000). *O Processo de Investigação: da concepção à realização*. Loures: Lusociência - Edições Técnicas e Científicas.
- Fu, J. G. M., & Ang, M. H. (2009). Probabilistic ants (PAnts) in multi-agent patrolling. Em *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM* (pp. 1371–1376). doi: 10.1109/AIM.2009.5229880.
- Geofabrik (2016). Europe. Acedido a 3 de março de 2017 em <http://download.geofabrik.de/europe.html>.
- Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers and Operations Research*, 13 (5), 533–549. doi: 10.1016/0305-0548(86)90048-1.
- GNR (1997). *Manual de Operações Volume II*. Lisboa: Centro Gráfico da GNR.
- GNR (2009). Despachos e Determinações do Comandante Geral: Despacho n.º 53/09-OG. *Ordem à Guarda*, 1ª série, n.º 5, 125 – 146.
- GNR (2014). *Estratégia da Guarda 2020 - uma Estratégia de Futuro*. Lisboa: Divisão de Planeamento Estratégico de Relações Internacionais.
- GNR (2016a). O Policiamento Comunitário e os Programas Especiais na GNR. Acedido a 4 de março de 2017 em http://www.gnr.pt/ProgEsp_main.aspx.
- GNR (2016b). *Plano de Atividades 2017*. Lisboa: Divisão de Planeamento Estratégico de Relações Internacionais.
- GNR (2016c). NEP/GNR - 8.80 de 16 de maio. Sistema Integrado de Informações Operações Policiais - SIIOP.
- GNR (2016d). NEP/GNR - 3.01.06 de 22 de novembro. Regulamentação do horário de referência semanal.
- Gold, C. M., Remmele, P. R., & Roos, T. (1997). Voronoi methods in GIS, 21–35. doi: 10.1007/3-540-63818-0_2.
- Golden, B. L., Raghavan, S., & Wasil, E. A. (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges: latest advances and new challenges. Operations Research - Computer Science Interface*. Springer Science & Business Media. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- Gomes, F. (2016). Encontro Nacional de Infraestruturas de Informação Geográfica (ENIIG). Acedido a 17 de março de 2017 em

- http://eniig.dgterritorio.pt/sites/default/files/Eniig2016_Francisco_Gomes_MAI.pdf.
- Green, L. (1984). A Multiple Dispatch Queueing Model of Police Patrol Operations. *Management Science*, 30 (6), 653–664. doi: 10.1287/mnsc.30.6.653.
- Green, L., & Kolesar, P. (1989). Testing the Validity of a Queueing Model of Police Patrol. *Management Science*, 35 (2), 127–148. doi: 10.1287/mnsc.35.2.127.
- Heinen, M. (2005). Análise e Implementação de Algoritmos para o Roteamento de Veículos. Em Anais do IV Simpósio de Informática da Região Centro do RS (SIRC/RS), (pp. 1–8), Santa Maria, RS, Brasil. UNIFRA Editora.
- Hill, M. M., & Hill, A. (2008). *Investigação por Questionário. Metodologias de Investigação em Educação* (2ª). Lisboa: Edições Sílabo. Acedido a janeiro de 2017 em <http://www.silabo.pt/livros.asp?aut=Andrew+Hill&num=48>.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2013). *Introdução à pesquisa operacional* (9ª Edição). São Paulo: AMGH editora ltda.
- Hillsman, E. L. (1984). The p-median structure as a unified linear model for location - allocation analysis. *Environment and Planning A*, 16 (3), 305–318. doi: 10.1068/a160305.
- Hou, M. S., & Liu, D. B. (2012). A novel method for solving the multiple traveling salesmen problem with multiple depots. *Chinese Science Bulletin*, 57 (15), 1886–1892. doi: 10.1007/s11434-012-5162-7.
- IBM (2015a). CPLEX Optimizer. Acedido a 5 de dezembro de 2016 em <http://www-01.ibm.com/software/commerce/optimization/cplex-optimizer/>.
- IBM (2015b). ILOG is now part of IBM. Acedido a 5 de dezembro de 2016 em <https://www-01.ibm.com/software/info/ilog/>.
- IGI Global (sem data-a). What is Operations Research/Management Science (OR/MS) | IGI Global. Acedido a dezembro de 2016 em <http://www.igi-global.com/dictionary/operations-researchmanagement-science-orms/39434>.
- IGI Global (sem data-b). What is Operations Research | IGI Global. Acedido a dezembro de 2016 em <http://www.igi-global.com/dictionary/operations-research/21315>.
- Iocchi, L., Marchetti, L., & Nardi, D. (2011). Multi-robot patrolling with coordinated behaviours in realistic environments. Em *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 2796–2801). doi: 10.1109/IROS.2011.6048424.
- José, W. P. da S. (2004). *A Investigação Operacional como ferramenta para otimizar a afetação dos recursos humanos e materiais na PSP (Modelo Hipercubo)*. Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna.

- Kaplan, R. (2001). *Science says: A collection of quotations on the history, meaning, and practice of science*. New York: E-Reads.
- Keskin, B. B., Li, S. R., Steil, D., & Spiller, S. (2012). Analysis of an integrated maximum covering and patrol routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48 (1), 215–232. doi: 10.1016/j.tre.2011.07.005.
- Keskin, B. B., & Parrish, A. (2010). *Optimal Traffic Resource Allocation and Management*. Acedido a 28 de dezembro de 2016 em <http://utca.eng.ua.edu/files/2011/12/09104-final-report.pdf>.
- Kolesar, P. J., Rider, K. L., Crabill, T. B., & Walker, W. E. (1975). A Queuing-Linear Programming Approach to Scheduling Police Patrol Cars. *Operations Research*, 23 (6), 1045–1062. doi: 10.1287/opre.23.6.1045.
- Kuo, P.-F., Lord, D., & Walden, T. D. (2012). Using geographical information systems to effectively organize police patrol routes by grouping hot spots of crash and crime data. *Journal of Transportation Geography*, 2012, 1–23. Acedido a 29 de dezembro de 2016 em https://ceprofs.civil.tamu.edu/dlord/Papers/RSS20113282_KUO-final.pdf.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: an overview of exact and approximated algorithms. *European Journal of Operation Research*, 3, 345–358.
- Laporte, G. (2009). Fifty Years of Vehicle Routing. *Transportation Science*, 43 (4), 408–416. doi: 10.1287/trsc.1090.0301.
- Larson, R. C. (1974). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers and Operations Research*, 1 (1), 67–95. doi: 10.1016/0305-0548(74)90076-8.
- Larson, R. C., & Mcknew, M. A. (1982). Police Patrol-Initiated Activities Within a Systems Queueing Model. *Management Science*, 28 (7), 759–774. doi: 10.1287/mnsc.28.7.759
- Lauri, F., & Koukam, A. (2008). A two-step evolutionary and ACO approach for solving the multi-agent patrolling problem. *2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2008*, 861–868. doi: 10.1109/CEC.2008.4630897.
- Leigh, J. M., Dunnett, S. J., & Jackson, L. M. (2015). Police Officer Selection Process for Incident Response. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, II*. Acedido a 3 de dezembro de 2016 em http://www.iaeng.org/publication/IMECS2015/IMECS2015_pp985-990.pdf.
- Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11 (2), 221–227. doi: 10.1002/net.3230110211.
- Li, L., Jiang, Z., Duan, N., Dong, W., Hu, K., & Sun, W. (2011). Police patrol service

- optimization based on the spatial pattern of hotspots. Em *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics, SOLI 2011* (pp. 45–50). doi: 10.1109/SOLI.2011.5986526.
- Lopes, I. T. (2013). *A Gestão do Capital Intelectual e dos Intangíveis na Era do Conhecimento* (1ª ed.). Lisboa: Escolar Editora.
- Lopes, R. B. (2011). *Location-routing problems of semi-obnoxious facilities: approaches and decision support*. Department of Economics, Management and Industrial Engineering. Acedido a 11 de fevereiro de 2017 em <http://ria.ua.pt/handle/10773/4014>
- Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C., & Santos, B. S. (2008). A decision-support tool for a capacitated location-routing problem. *Decision Support Systems*, 46 (1), 366–375. doi: 10.1016/j.dss.2008.07.007.
- Lopes, R. B., Ferreira, C., & Santos, B. S. (2016). LORE, A Decision Support Tool for Location, Routing and Location-Routing Problems (pp. 261–274). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-44896-1_17.
- Lysgaard, J. (1997). Clarke & Wright's Savings Algorithm, (September), 1–7. Acedido a 29 de dezembro de 2016 em http://pure.au.dk/portal-asb-student/files/36025757/Bilag_E_SAVINGSNOTE.pdf.
- Machado, A., Ramalho, G., Zucker, J.-D., & Drogoul, a. (2002). Multi-agent patrolling: an empirical analysis of alternative architectures. *3rd International Conference on Multi-agent-based simulation II (MABS)*, 155–170. doi: 10.1007/3-540-36483-8_11.
- Machado, M. (2015). Desenvolvimento Aplicacional na GNR. *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 18 de março de 2017 em <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Maranzana, F. E. (1963). On the location of supply points to minimize transportation costs. *IBM Systems Journal*, 2 (2), 129–135. doi: 10.1147/sj.22.0129.
- Marconi, M., & Lakatos, E. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. Editora Atlas S. A. (5ª). São Paulo: Atlas.
- Matai, R., Singh, S., & Lal, M. (2010). Traveling Salesman Problem: an Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. Em *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*. InTech. doi: 10.5772/12909.
- Ministério da Administração Interna [MAI] (2010). Despacho n.º 10393/2010 de 22 de junho: RGSGNR. *Diário da República*, 2ª série, n.º 119, 33856–33891.
- Ministério da Defesa Nacional (2008). Decreto-Lei n.º 37/2008 de 5 de março: aplica ao ensino superior público militar o Decreto-Lei n.º 74/2006, de 24 de Março, que

- estabelece o regime jurídico dos graus e diplomas do ensino superior. *Diário da República*, 1ª série, n.º 46, 1382–1387.
- Ministério da Defesa Nacional e da Administração Interna [MAI] (2009). Portaria n.º 1099/2009 de 24 de setembro: aprova as áreas de formação e as especialidades em que a Escola Naval, a Academia Militar e a Academia da Força Aérea conferem o grau de licenciado e de mestre. *Diário da República*, 1ª série, n.º 186, 6812–6814.
- Mitchell, P. S. (1972). Optimal selection of police patrol beats. *Journal of Criminal Law, Criminology & Police Science*, 63 (4), 577–584. doi: 10.2307/1141814.
- NEO (2013). Bibliography on VRP. Acedido a 3 de abril de 2017 em <http://neo.lcc.uma.es/vrp/bibliography-on-vrp/>.
- Nunes, J. (2015). A interoperabilidade dos Sistemas de Informação como fator de sucesso. *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 18 de março de 2017 em <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Nunes, L. (2015). Estratégias para as Tecnologias e Sistemas de Informação da Guarda. *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 18 de março de 2017 em <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2011). A Review of Dynamic Vehicle Routing Problems. *Cirrelet-2011-62*, 0–28. doi: 10.1016/j.ejor.2012.08.015.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*. doi: 10.1016/j.ejor.2012.08.015.
- Portugal, D., & Rocha, R. P. (2013). Scalable, fault-tolerant and distributed multi-robot patrol in real world environments. Em *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 4759–4764). doi: 10.1109/IROS.2013.6697042.
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico* (2ª). Rio Grande do Sul: Feevale. Acedido a 26 de dezembro de 2016 em <https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=zUDsAQAAQBAJ&pgis=1>.
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. Van. (2013). *Manual de investigação em ciências sociais. Trajectos* (6ª). Lisboa.
- Raff, S. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art. *Computers and Operations Research*. doi: 10.1016/0305-0548(83)90030-8.
- Ramalhete, M., Guerreiro, J., & Magalhães, A. (1985). *Programação Linear - Volume I*. Lisboa: McGraw-Hill. Acedido a 20 de março de 2017 em

- <https://fenix.ciencias.ulisboa.pt/courses/plin-5-284554468267606/bibliografia>.
- Reis, D., Melo, A., Coelho, A. L. V., & Furtado, V. (2006a). GAPatrol: An Evolutionary Multiagent Approach for the Automatic Definition of Hotspots and Patrol Routes (pp. 118–127). Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/11874850_16.
- Reis, D., Melo, A., Coelho, A. L. V., & Furtado, V. (2006b). Towards Optimal Police Patrol Routes with Genetic Algorithms (pp. 485–491). doi: 10.1007/11760146_45.
- Røpke, S. (2006). *Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems*. Technical University of Denmark. Acedido a 18 de dezembro de 2016 em [http://orbit.dtu.dk/ws/files/3155278/Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems_Ropke.pdf](http://orbit.dtu.dk/ws/files/3155278/Heuristic_and_exact_algorithms_for_vehicle_routing_problems_Ropke.pdf).
- Roque, I., & Junior, S. (2006). Comparação entre Métodos Exatos e Heurísticos para tratar o Problema de Roteamento de Veículos em um Ambiente Fabril. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1–9. Acedido a 29 de dezembro de 2016 em http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR460314_8381.pdf.
- Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2004). *The Cross-Entropy Method : a Unified Approach to Combinatorial Optimization, Monte-Carlo Simulation and Machine Learning*. Springer New York.
- Sacks, S. R. (2000). Optimal Spatial Deployment of Police Patrol Cars. *Social Science Computer Review*, 18 (1), 40–55. doi: 10.1177/089443930001800103.
- Santana, H., Ramalho, G., Corruble, V., & Ratitch, B. (2004). Multi-agent patrolling with reinforcement learning. Em *Proceeding AAMAS '04 Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 3* (pp. 1122–1129). doi: 10.1109/AAMAS.2004.180.
- Santos, L., Monteiro, F., Lima, J., Silva, N., Silva, C., & Afonso, C. (2014). *Orientações metodológicas para a elaboração de trabalhos de investigação*.
- Santos, P. (2015). Inovação Tecnológica no Ciberpolicamento «Police Social Plugins». *Pela Lei e pela Grei - N.º 108 - Sistemas de Informação*, 75. Acedido a 18 de março de 2017 em <http://www.gnr.pt/mostrarPdf.ashx?a=2&i=1>.
- Sarmiento, M. (2013). *Metodologia científica para a elaboração, escrita e apresentação de teses*. Lisboa: Universidade Lusíada Editora.
- Schopf, E. C., Schepke, C., Silva, M., & Silva, P. (2006). Avaliação de Heurísticas de Melhoramento e da Metaheurística Busca Tabu para Solução de PRV. *Centro de Electrónica e ...*, 8. Acedido a 29 de dezembro de 2016 em <http://www.inf.ufrrgs.br/~cschepke/graduacao/AvaliacaoDeHeurísticasDeMelhoramen>

- toETabu.pdf.
- SGMAI (2014). Sistemas de Informação. Acedido a 17 de março de 2017 em <http://www.sg.mai.gov.pt/Tecnologias/SistemasInformacao/Paginas/default.aspx>.
- SGMAI (2016). Fundo para a Segurança Interna (FSI). Acedido a 27 de março de 2017 em <http://www.sg.mai.gov.pt/FundosComunitarios/QFP20142020/FSI/Paginas/default.aspx>.
- SGMAI (2017). FSI financia o geoMAI. Acedido a 17 de março de 2017 em <http://www.sg.mai.gov.pt/Noticias/Paginas/FSI-financia-o-geoMAI.aspx>.
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., & Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, 33 (2), 111–126. doi: 10.1016/S0167-9236(01)00139-7.
- Snyder, L. V., Schmitt, A. J., Atan, Z., Peng, P., Rong, Y., & Sinsoysal, B. (2014). OR / MS Models for Supply Chain Disruptions : A Review. *Ssrn*, (November 2014), 1–76. doi: 10.2139/ssrn.1689882.
- Taha, H. A. (2008). *Pesquisa Operacional* (8ª). São Paulo: Prentice Hall.
- Tavares, R. J. D. (2012). *Heurística greedy sequencial para definição de frequências e rotas : aplicação a um problema real de transporte fluvial*. Instituto Superior de Economia e Gestão.
- Teitz, M. B., & Bart, P. (1968). Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. *Operations Research*, 16 (5), 955–961. doi: 10.1287/opre.16.5.955.
- Teixeira, S. (2013). *Gestão das Organizações* (3ª ed.). Lisboa: Escolar Editora.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). An Overview of Vehicle Routing Problems. Em *The Vehicle Routing Problem* (pp. 1–26). doi: 10.1137/1.9780898718515.ch1.
- Vaes, K. (2013). Understanding ; data, knowledge, information & wisdom. Acedido a 16 de março de 2017 em <https://kvaes.files.wordpress.com/2013/05/20130531-182549.jpg>.
- Wang, F. (2012). Why police and policing need GIS: an overview. *Annals of GIS*, 18 (3), 159–171. doi: 10.1080/19475683.2012.691900.
- Wright, P. D., Liberatore, M. J., & Nydick, R. L. (2006). A Survey of Operations Research Models and Applications in Homeland Security. *Interfaces*, 36 (6), 514–529. doi: 10.1287/inte.1060.0253.
- Yang, B., Hu, Z.-H., & Zhou, J.-X. (2015). Configuration, Deployment, and Scheduling Models for Management and Optimization of Patrol Services. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1–13. doi: 10.1155/2015/738578.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ESTRUTURA DO TIA

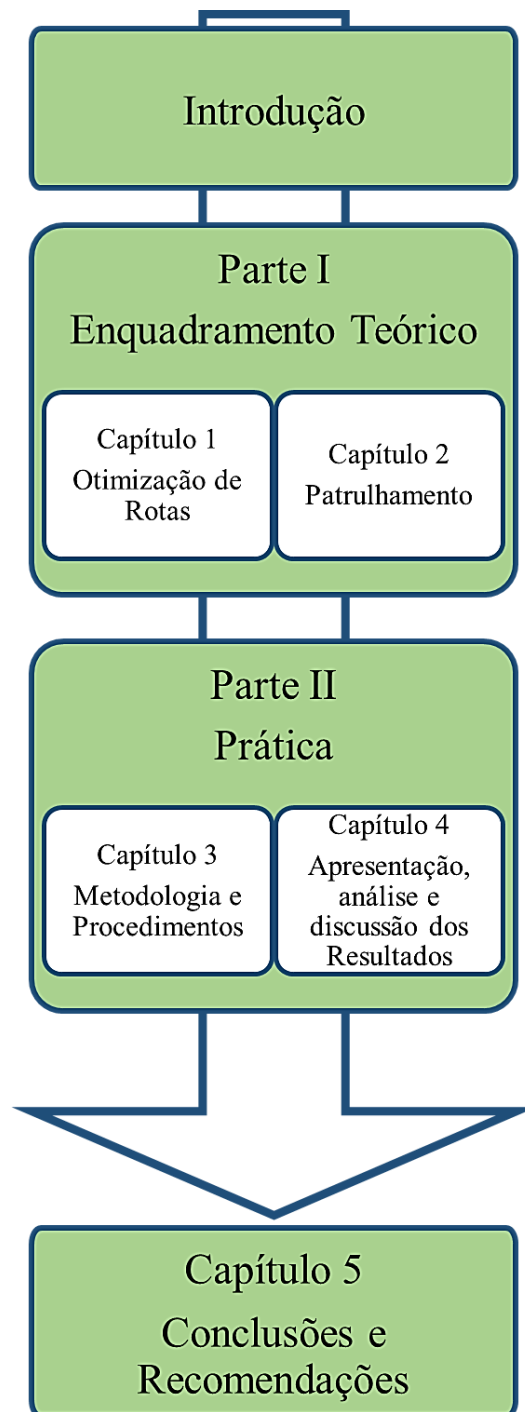


Figura n.º 3 – Estrutura do TIA

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE B – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE O PROBLEMA DE ROTAS DE PATRULHA

Tabela n.º 3 – Revisão sistemática da literatura sobre o problema de rotas de patrulha

Autor	Propósito do Estudo	Abordagem ao problema	Principais Conceitos/ Modelo Utilizado	Conclusões/Resultados
Chaiken & Larson (1972)	Descrever características comuns e problemas operacionais de um sistema de serviço de emergência urbana, com unidades móveis (veículos) para responder a pedidos que ocorram a qualquer momento e em qualquer lugar ao longo de uma cidade e examina os diversos métodos, que podem ser utilizados para a atribuição das unidades. Alguns aspetos de afetação de patrulhas discutidos incluem (1) determinar o número de unidades para ter em serviço, (2) a localização das unidades, (3) projetar as suas áreas de resposta ou áreas de patrulha, (4) unidades de relocação, e (5) planeamento de padrões para as patrulhas.		Afetação de patrulhas Planeamento de padrões	O uso de modelos de alocação quantitativos pode influenciar as políticas de alocação de meios, que incluem filas seletivas de chamadas de baixa prioridade, variando o número de unidades alocadas (e suas localizações) por hora do dia, que não sejam os mais próximos de certos incidentes. Como resultado de fazer tais mudanças, muitas vezes é possível reduzir filas e atrasos no tempo de viagens, melhorar o equilíbrio da carga de trabalho entre as unidades, e aumentar a quantidade das patrulhas às ocorrências, quando necessário.
Larson (1974)	Auxiliar os gestores dos serviços de emergência urbanos na localização de veículos e projetar uma resposta eficaz aos distritos analisados, através de algoritmos que permitem a avaliação de desempenho na resposta às exigências. As medidas de desempenho calculadas analiticamente pelo modelo incluem o seguinte: tamanho da região, o tempo médio de viagem, desequilíbrio de carga de trabalho e frações de despachos interdistritais; cargas de trabalho e o tempo médio de viagem de cada unidade de resposta; o tempo médio de viagem de e para cada distrito; fração de respostas em cada distrito.	<i>Queueing models</i>	Programação Linear Inteira <i>N-dimensional unit hypercube</i>	Uma análise do algoritmo mostra de uma forma surpreendente que o tempo necessário para a execução do algoritmo, medido em tempo de execução por etapa (ou operações por vértice do hiper cubo), diminui efetivamente à medida que o tamanho do problema aumenta. A mistura de medidas de desempenho permite concentrar-se simultaneamente em vários objetivos de toda a região, garantindo ao mesmo tempo que as desigualdades espaciais no fornecimento do serviço são mantidas a um mínimo aceitável.
Kolesar, Rider, Crabill, & Walker (1975)	Apresentar um método para programar a afetação de veículos de patrulha, de forma a que os padrões de serviço especificados sejam satisfeitos em cada hora do dia, usando dois modelos. O primeiro é um modelo de enfileiramento “M/M/n” com parâmetros dependentes do tempo que é resolvido numericamente. O segundo é um programa linear inteiro, em que as variáveis de decisão são o número de carros de patrulha que trabalham em cada turno e os tempos fora do serviço para as refeições. As restrições do programa são determinadas pela saída do modelo de filas.		<i>Integer linear programming</i> <i>Queueing theory</i>	Em qualquer cidade, a taxa de atendimento de chamadas para o serviço de patrulha varia consideravelmente ao longo do dia. O uso do método com dados do Departamento de Polícia da Cidade de Nova Iorque indica que pode levar a melhorias substanciais no serviço policial.

Apêndice B – Revisão Sistemática da Literatura sobre o problema de rotas de patrulha

J. M. Chaiken & Dormont (1978)	Especificar o número de carros de patrulha necessários em cada comando de uma cidade, em vários momentos do dia e em cada dia da semana. O programa calcula as estatísticas de desempenho e contempla duas capacidades prescritivas: (1) determinar o número mínimo de carros de patrulha necessários durante cada turno em cada comando para atender a restrições especificadas sobre medidas de desempenho, e (2) atribuir um número total específico de carros pelo tempo e/ou geografia, de modo a otimizar uma das várias funções objetivo disponíveis.		PCAM	A principal inovação técnica no modelo é que permite patrulhar todos os dias e ainda sobrepor dois outros turnos. O algoritmo heurístico aloca carro-horas quando existe algum turno em sobreposição; é ideal quando o turno de sobreposição tem a mesma duração que o turno sobreposto.
Larson & Mcknew (1982)	Desenvolver um modelo de enfileiramento espacial de uma patrulha policial que permite que cada um dos carros de patrulha esteja em um dos três estados: (1) ocupado, em chamada de serviço; (2) ocupado, em atividade iniciada pela patrulha; (3) livre, em patrulha. Projetado para solução de computador, o modelo produz N equações não-lineares cujas incógnitas são as cargas de trabalho dos N carros de patrulha.		<i>Patrol-initiated activities</i>	A incorporação deste modelo representa uma melhoria em relação aos modelos anteriores de <i>operations research/management science</i> (OR/MS) e resulta em decisões mais informadas de gestão policial e redução de iniquidades de acessibilidade policial. Os métodos deste trabalho são potencialmente aplicáveis a outros serviços urbanos, incluindo táxis e operações de manutenção.
Green (1984)	Descrever um modelo que foi desenvolvido para representar operações de patrulhamento com mais precisão. É um modelo de filas com múltipla prioridade e a sua finalidade é não só proporcionar uma melhor base para a alocação eficiente dos carros de patrulha, mas permitir uma avaliação das patrulhas para vários tipos de incidentes.		MCD model <i>Multi-priority queueing mode</i>	O Uma das principais preocupações dos departamentos de polícia urbanas é o uso eficaz de carros de patrulha. Nas grandes cidades, a polícia é responsável por mais de 50% da mão de obra policial total e a sua afetação tornou-se particularmente crucial, tendo em conta os cortes fiscais ocorridos à data. Face à magnitude dos atrasos na resposta a pedidos de assistência, este modelo tornou-se uma mais valia na afetação das patrulhas no terreno.
Birge & Pollock (1989)	Desenvolver um modelo de Markov que incorpora explicitamente os tempos de viagem e as chamadas prioritárias para analisar as políticas de patrulhamento policial em áreas rurais face aos modelos urbanos, por estes não poderem geralmente ser aplicados aos ambientes rurais.		<i>Strategies for wide-area patrol</i> (SWAP)	A duração dos tempos de viagem e a natureza das chamadas de serviço em regiões rurais, de área ampla e de baixa população são diferentes em relação aos ambientes urbanos. Os resultados do modelo são favoráveis e com bastante utilidade. Utilizam os dados de Washtenaw County, Michigan, EUA.
Mitchell (1972)	Apresentar modelos práticos de otimização estática para a eficiente distribuição geográfica das patrulhas.	<i>Mathematical modeling</i>	<i>Clustering</i> <i>Basic optimization model</i>	Com a implementação deste modelo consegue-se uma minimização da distância na resposta ao solicitado e um aumento do tempo disponível das patrulhas às ocorrências. O agrupamento por minimização da distância de percurso aumenta automaticamente a frequência das patrulhas em áreas com alta incidência criminal ou acidental.
Machado, Ramalho, Zucker, & Drogoul (2002)	Apresentar uma discussão original e em profundidade sobre as tarefas de patrulhamento “ <i>multi-agent</i> ”, bem como uma avaliação empírica de possíveis soluções.		MAS	Os resultados mostram qual o tipo de arquitetura para patrulhar uma área mais adequadamente, de acordo com as circunstâncias.
Santana, Ramalho, Corruble, & Ratitch (2004)	Mostrar como a tarefa de patrulhamento pode ser modelada, permitindo a adaptação contínua e automática das estratégias dos agentes ao seu ambiente. Demonstrar que um comportamento cooperativo eficiente pode ser alcançado usando-se métodos RL, como <i>Q-Learning</i> .	<i>Simulation</i>	<i>Reinforcement learning</i> (RL) <i>Q-Learning</i>	A avaliação empírica comprova a eficácia da abordagem, uma vez que os resultados obtidos são substancialmente melhores do que os resultados disponíveis até à data neste domínio.

Duchenne, Laporte, & Semet (2005)	Determinar ciclos de custo total mínimo num gráfico. Este artigo descreve procedimentos para uma solução de ramificação e corte exato para o <i>m-Peripatetic Salesman Problem</i> (m-PSP) não direcionado.	<i>Graph Theory</i>	m-PSP <i>m edge disjoint</i> <i>Hamiltonian cycles</i> TSP	Apresentam-se novos modelos, desigualdades válidas e algoritmos para o Problema do Caixeiro Viajante não direcionado, uma variante do clássico Problema do Caixeiro Viajante. O maior tamanho resolvido de forma otimizada atinge $n = 60$ e $m = 5$. Segundo os autores, é a primeira vez que os resultados exatos são apresentados para $m \geq 3$. Apresentam dois modelos: “Índice 3” é uma descrição exata do problema ao contrário do modelo “Índice 2”. Este modelo é superior quando seguido por um procedimento visando restaurar a viabilidade (Algoritmo 1 ou Algoritmo 2).
Chawathe (2007)	Abordar o problema do planeamento de rotas de patrulha para maximizar a cobertura de locais importantes (<i>hot spots</i>) a um custo mínimo (comprimento da rota de patrulha), modelando uma rede rodoviária usando um gráfico ponderado em que as arestas representam ruas, os vértices representam interseções e os pesos representam a importância das ruas correspondentes.		<i>MassGIS database</i>	Método eficiente para determinar um conjunto de rotas de patrulha importantes. Visa fornecer uma ferramenta para fazer parte de um sistema muito maior para planeamento de patrulhas. Eficiência no recálculo de rotas importantes, uma vez que as condições resultam em mudanças nos pesos de entrada. Por exemplo, mudanças devido a um acidente grave ou outro problema podem ser rapidamente incorporadas.
Reis, Melo, Coelho, & Furtado (2006)	Apresentar os primeiros resultados obtidos com o GAPatrol, uma nova ferramenta de simulação evolutiva baseada em múltiplos agentes, concebida para auxiliar os Cmdts na conceção de estratégias eficazes de rotas de patrulha policial.	<i>Heuristics Solutions</i>	<i>GAPatrol</i>	Com dois cenários de estudo sobre o mesmo território urbano artificial, conclui-se que o GAPatrol é uma ferramenta que facilita a descoberta automática de pontos críticos de crime, isto é, regiões de alto grau de densidade (ou alvos) que merecem uma melhor cobertura pela vigilância da patrulha durante o giro.
Lauri & Koukam (2008)	Com a introdução de um novo algoritmo de otimização <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO) que é combinado com uma técnica de Algoritmo Evolutivo (EA) pretende descobrir a melhor estratégia de patrulhamento “multiagente”. O objetivo da EA é encontrar o melhor conjunto de nós distantes, permitindo que cada patrulha se disperse eficientemente sobre o gráfico.		ACO <i>Evolutionary Algorithm</i> (EA) <i>technique</i>	Os resultados experimentais mostram que, independentemente do número de patrulheiros envolvidos e de todos os gráficos avaliados, os algoritmos EA e ACO em duas etapas superam significativamente e com eficiência as melhores técnicas propostas na literatura.

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE C – ESTRUTURA DA INVESTIGAÇÃO

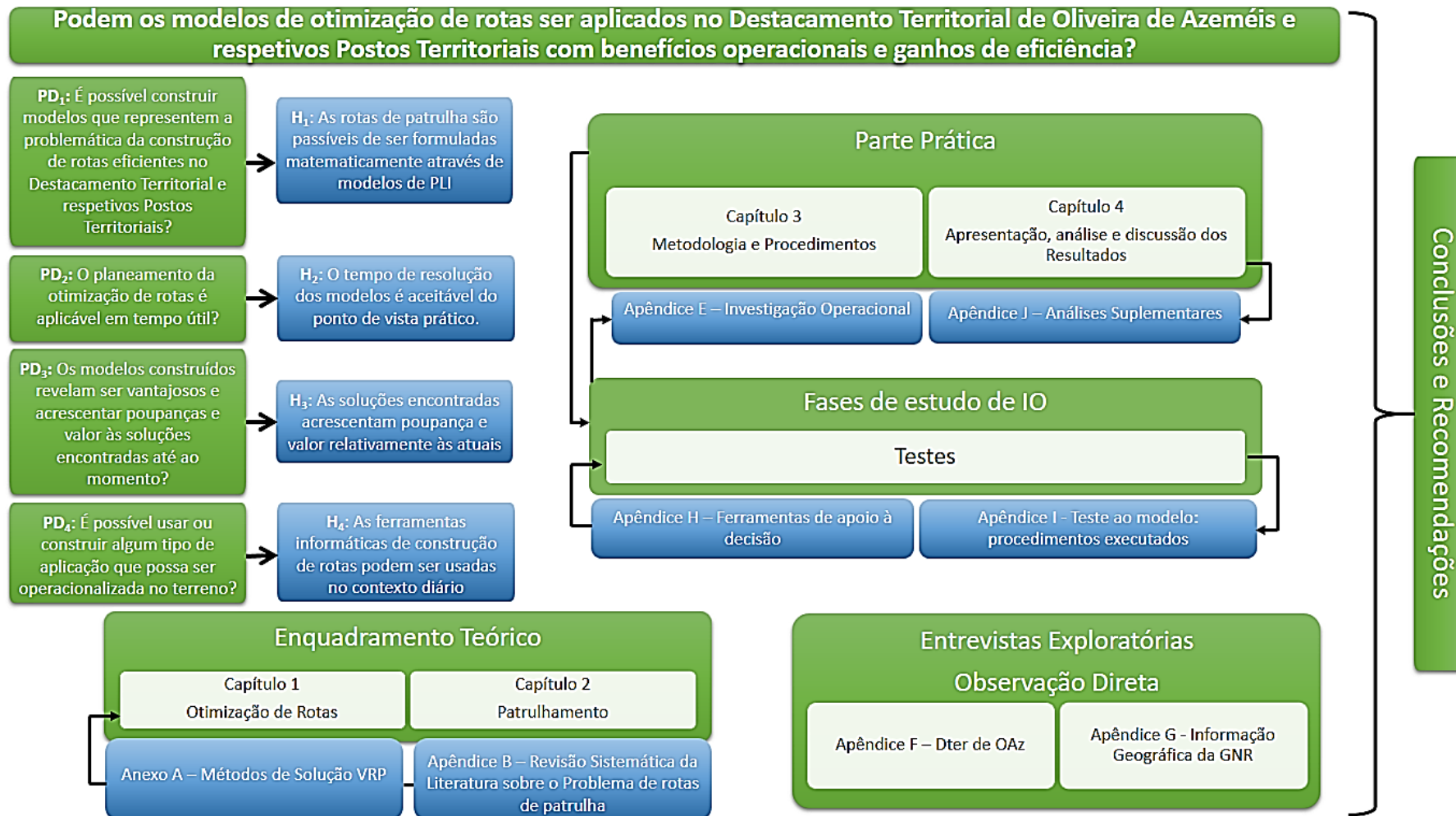


Figura n.º 4 – Estrutura da investigação

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE D – CARACTERIZAÇÃO DOS ENTREVISTADOS

Tabela n.º 4 – Caracterização dos Entrevistados

N.º	Posto	Função	Nome	Dia	Hora	Local
E1	Tenente-Coronel	Chefe da Divisão de Sistemas de Informação	João Nunes	8 de março de 2017	15h30m	DCSI
E2	Tenente	Cmdt de DTer	Bruno Marques	17 de dezembro de 2016	10h00m	DTer de OAz
E3	Sargento-ajudante	Cmdt de PTer	Octávio Fernandes	14 de janeiro de 2017	11h00m	PTer de Arouca
E4	Sargento-ajudante	Cmdt de PTer	Rogério Clamote	14 de janeiro de 2017	09h00m	PTer de Vale de Cambra
E5	Sargento-ajudante	Cmdt de PTer	Virgílio Bandeira	28 de dezembro de 2016	16h30m	PTer de Cesar
E6	Primeiro-sargento	Cmdt de PTer	Paulo Silva	14 de janeiro de 2017	14h30m	PTer de Castelo de Paiva
E7	Primeiro-sargento	Cmdt de PTer	Jorge Alexandre	28 de dezembro de 2016	14h00m	PTer de OAz
E8	Primeiro-sargento	Cmdt de PTer	Paulo Oliveira	29 de dezembro de 2016	14h30m	PTer de Cucujães
E9	-	Responsável pelo SIIOP – G (Temas)	Sónia Alexandre	8 de março de 2017	14h30m	DCSI

Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE E – INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL

E.1. Da origem ao modelo científico

A IO remonta aos primórdios da Segunda Guerra Mundial¹²¹ (Taha, 2008) e surge da necessidade de alocar recursos escassos de forma eficiente para diversas operações militares (Hillier & Lieberman, 2013). Após o término da guerra, o sucesso da IO no empreendimento bélico¹²² despertou interesse fora do ambiente militar. Em razão disso, o conhecimento científico nesta área foi avançando e, com a crescente complexidade e especialização das organizações, estendeu-se a outras áreas da sociedade¹²³ (Hillier & Lieberman, 2013).

A natureza da IO envolve a resolução de problemas que compreendem a condução e coordenação das operações (isto é, as atividades) de uma organização (Hillier & Lieberman, 2013). Do ponto de vista científico, a IO “é uma metodologia de estruturar processos aparentemente não estruturados por meio da construção de modelos matemáticos” (Ehrlich, 1991, p. 13), ou seja, “é o ramo científico que fornece uma abordagem sistemática e racional, baseada essencialmente em técnicas quantitativas na solução de problemas” (Ramalhete, Guerreiro, & Magalhães, 1985, p. 20).

No sentido lato, o método científico é utilizado para investigar ciências da administração, no qual, através da construção de um modelo científico (tipicamente matemático), se tenta abstrair da essência do problema real. Partindo da hipótese que o modelo representa as características fundamentais da situação e que as soluções obtidas são válidas, realizam-se testes e experimentações, modificando o modelo, se necessário, com o intuito de verificar essas mesmas hipóteses e proceder-se à validação do mesmo (Hillier & Lieberman, 2013).

Os modelos hipotéticos desenvolvidos representam situações verdadeiras e reais, envolvendo diversos graus de aproximação (Taha, 2008). A Figura n.º 5 mostra os níveis de abstração que caracterizam o desenvolvimento de um modelo de IO (Taha, 2008). “Abstraímos o mundo real considerado da situação real, concentrando-nos nas variáveis

¹²¹ As primeiras atividades iniciaram-se na Inglaterra por uma equipa de cientistas britânicos (Taha, 2008).

¹²² Através do *método simplex*, para resolução de problemas de programação linear (Hillier & Lieberman, 2013).

¹²³ A “avalanche” da *revolução computacional* despoletou o rápido crescimento da IO, a partir dos meados do século XX (Hillier & Lieberman, 2013).

dominantes que controlam o comportamento do sistema real. O modelo expressa de maneira tratável as funções matemáticas que representam o comportamento do mundo real considerado” (Taha, 2008, p. 3).

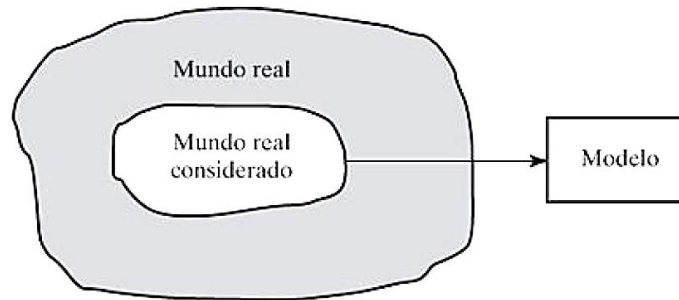


Figura n.º 5 – Níveis de abstração no desenvolvimento do modelo

Fonte: Adaptado de Taha (2008)

Para que a IO seja bem-sucedida precisa, sempre que necessário, fornecer conclusões positivas e inteligíveis à tomada de decisão¹²⁴ (Hillier & Lieberman, 2013).

E.2. Fases de um estudo de Investigação Operacional

A IO, como ferramenta de tomada de decisões, “é uma ciência e também uma arte” (Taha, 2008, p. 4). É “uma ciência em virtude das técnicas matemáticas que incorpora e uma arte porque o sucesso das fases que resultam na solução do modelo matemático depende em grande parte da criatividade e da experiência da equipa de IO” (Taha, 2008, p. 4).

Grande parte do conhecimento em IO deriva de técnicas quantitativas e métodos matemáticos. Os estudos práticos neste âmbito requerem análise matemática, sendo que esta apenas apresenta uma pequena parte do esforço total necessário (Hillier & Lieberman, 2013).

¹²⁴ A IO tem como característica principal, explorar a melhor solução para o problema considerado (Hillier & Lieberman, 2013). Melhor solução e não ótima solução, pois existem considerações dispares de qual das melhores soluções é a solução ótima (Hillier & Lieberman, 2013).

As obras de Hillier e Lieberman¹²⁵ e de Taha¹²⁶ são referências de IO muito utilizadas em universidades de todo o mundo¹²⁷, com um percurso científico muito vasto e com tradução nas mais variadas línguas. Estes autores possuem obras muito completas e úteis na área dos modelos de otimização aplicada e são os mais conhecidos no que concerne ao estudo da IO aplicada.

Um estudo típico de IO e desenvolvimento de modelos de otimização requerem, segundo Hillier e Lieberman (2013), a concretização de seis fases (Figura n.º 6).



Figura n.º 6 – Fases de um estudo de IO segundo Hillier e Lieberman

Fonte: Adaptado de Hillier & Lieberman (2013)

Por outro lado, Taha (2008) apresenta cinco fases como diretrizes gerais para implementação da IO na prática (Figura n.º 7).

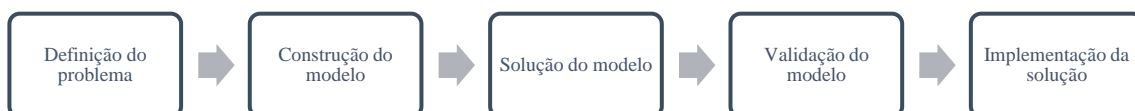


Figura n.º 7 – Fases de um estudo de IO segundo Taha

Fonte: Adaptado de Taha (2008)

De seguida, são apresentadas e descritas de uma forma breve as fases propostas pelos autores. Opta-se por aplicar os títulos de Hillier e Lieberman (2013), pois abordam cada fase de uma forma mais íntegra e completa. De referir, no entanto, que os conteúdos expressos em ambas as obras são muito semelhantes, pelo que existe cruzamento e complementaridade de ideias e noções.

¹²⁵ Nomeadamente, *Introduction to Operations Research*.

¹²⁶ Particularmente, *Operations research: an introduction*.

¹²⁷ Especialmente, em Portugal, Brasil e EUA.

E.2.1. Definição do problema e recolha de dados

Nesta fase é importante estudar e desenvolver um enunciado bem definido do problema considerado, ou seja, quais os objetivos apropriados, restrições sobre o qual pode ser feito, possíveis percursos alternativos, limites de tempo para tomadas de decisão, entre outras (Hillier & Lieberman, 2013). A definição do problema envolve definir o objetivo do problema sob investigação. “A meta é identificar os 3 elementos principais de um problema de decisão: (1) decisão das alternativas de decisão, (2) determinação do objetivo do estudo e (3) especificação das limitações sob as quais o sistema modelado funciona” (Taha, 2008, p. 4).

A definição do problema é crucial, pois afeta muito a relevância das conclusões da investigação (Hillier & Lieberman, 2013). Torna-se “difícil obter uma resposta “correta” para um problema “incorreto”!” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 7). Os objetivos do estudo devem ser específicos e, ao mesmo tempo, englobar os principais objetivos da tomada de decisão, mantendo um grau de consistência razoável (Hillier & Lieberman, 2013).

Normalmente, para a recolha de dados, investe-se bastante tempo com o objetivo de obter os esclarecimentos necessários acerca do problema em análise, mas também fornecer os dados indispensáveis à formulação do problema (Hillier & Lieberman, 2013).

Por vezes, os dados não estão disponíveis quando se inicia o estudo ou encontram-se desatualizados, pelo que o tempo se torna um fator preponderante na tentativa de melhorar a precisão dos dados e adequar os mesmos ao problema em estudo (Hillier & Lieberman, 2013).

E.2.2. Formulação do modelo matemático

A construção do modelo “implica uma tentativa de traduzir a definição do problema em relações matemáticas” (Taha, 2008, p. 4). No caso do modelo se ajustar a um dos métodos matemáticos padrão, tal como a programação linear, pode-se, normalmente, chegar a uma solução utilizando algoritmos disponíveis. Todavia, se as relações matemáticas forem muito complexas para permitir a determinação de uma solução analítica, pode-se optar por simplificar o modelo e usar uma abordagem heurística

ou uma simulação, se necessário. Em alguns casos, os modelos heurísticos e de simulação podem ser combinados para resolver o problema de decisão (Taha, 2008).

Os modelos matemáticos apresentam vantagens em relação às descrições verbais do problema, tais como: descreve-se o problema de forma mais concisa, o que torna a sua estrutura geral mais compreensível e ajuda a revelar importantes relacionamentos causa-efeito; facilita o tratamento do problema e das suas variáveis em simultâneo; e, estabelece-se uma relação próxima entre o emprego de técnicas matemáticas e aplicações computacionais (Hillier & Lieberman, 2013).

O método de IO convencional é construir um modelo matemático que represente a essência do problema. As decisões são representadas sob a forma de variáveis de decisão. A medida de desempenho apropriada é expressa numa função matemática dessas variáveis de decisão, chamada de função objetivo. As restrições aplicadas a essas variáveis de decisão são expressas sob a forma matemática através de desigualdades ou equações. Estas expressões matemáticas que limitam as variáveis denominam-se de restrições (Hillier & Lieberman, 2013) e as constantes aplicadas nas restrições e na função objetivo denominam-se de parâmetros. Os parâmetros são fundamentais para que se consiga efetuar uma análise de sensibilidade, ao alterar cada parâmetro para valores plausíveis (Hillier & Lieberman, 2013).

E.2.3. Derivação de soluções com base no modelo

Esta etapa, por norma, é considerada a fase mais simples de um estudo em IO, pois, através de pacotes de *softwares* disponíveis, aplicam-se os algoritmos representados pela formulação matemática. O grande esforço começa nas fases seguintes, incluindo as análises de sensibilidade (Hillier & Lieberman, 2013), em que se estuda o comportamento da solução ótima na vizinhança dos parâmetros estimados¹²⁸ (Taha, 2008).

A construção de modelos, por norma, tende a procurar soluções ótimas ou a melhor solução possível. Contudo, os modelos idealizados, normalmente, não representam exatamente o problema real, o que por vezes não existe uma garantia utópica que solucionará o problema em causa, devido a fatores imprevisíveis e incertezas associadas a problemas práticos. Por esta razão, os modelos devem ser bem formulados e testados

¹²⁸ Num “modelo matemático com valores especificados para todos os seus paradigmas, os parâmetros sensíveis do modelo são aqueles cujos valores não podem ser modificados sem alterar a solução ótima” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 13).

para garantir uma boa aproximação ao caminho adotado em concreto (Hillier & Lieberman, 2013).

O estudo de IO deve ser conduzido de maneira otimizada, independentemente se envolve ou não a descoberta de uma solução ótima para o modelo. Deve-se ter em conta o custo e as desvantagens do estudo para no final maximizar os ganhos líquidos dele resultantes. Desta forma, alguns estudos recorrem a procedimentos heurísticos¹²⁹ no sentido de encontrar uma solução subótima. Normalmente, acontece quando os custos e o tempo necessário para encontrar a solução ótima atingem dimensões muito grandes (Hillier & Lieberman, 2013).

E.2.4. Testes ao modelo

Durante o desenvolvimento de um modelo matemático, é normal que surjam falhas decorrentes da ausência de alguns parâmetros, fruto da dificuldade de comunicação e de compreensão de todos os aspetos incorporados num problema operacional. Neste sentido, torna-se imprescindível testar amplamente o modelo antes de ser utilizado com o propósito de corrigir o maior número de falhas (Hillier & Lieberman, 2013). A este “processo de teste e aperfeiçoamento de um modelo para aumentar a sua validade é comumente referido como validação de modelos” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 14).

Nesta fase colocam-se algumas questões importantes, tais como: o modelo prevê devidamente o comportamento do sistema em estudo? A solução faz sentido? O modelo é válido se, sob condições semelhantes de entrada, repete moderadamente o desempenho anterior. Contudo, não existem garantias absolutas que o comportamento futuro será igual ao anterior. Não existindo dados históricos disponíveis, a simulação poderá ser uma ferramenta independente para verificar os resultados. Torna-se importante documentar o processo utilizado para validação dos modelos, aumentando o grau de confiança no modelo para utilizadores futuros (Taha, 2008).

¹²⁹ O grande avanço das meta-heurísticas têm potenciado a criação de soluções mais eficientes (Hillier & Lieberman, 2013).

E.2.5. Preparação para aplicar o modelo

Após a fase de testes, o modelo pode ser utilizado repetidamente? Se sim, o próximo passo é instalar um sistema documentado para aplicar o modelo, conforme prescrito pelos órgãos decisores. Este sistema incluirá, não só o modelo, mas também os procedimentos operacionais. O sistema, vulgarmente, baseia-se em aplicações computacionais sendo ou integrando sistemas de apoio à decisão, dando suporte e potenciar decisões mais eficientes (Hillier & Lieberman, 2013).

No entanto, testar e instalar um sistema, normalmente, pode demorar vários meses (ou mais) (Hillier & Lieberman, 2013). Surgem questões que, por vezes, influenciam as tomadas de decisão. Qual o valor inicial de investimento? Quais os custos futuros? Será rentável a curto, médio e/ou longo prazo?

Parte do esforço envolve tempo e custos com a manutenção do sistema, tendo em conta a sua utilização futura (Hillier & Lieberman, 2013).

E.2.6. Implementação

A última fase de um estudo de IO, consiste em implementar o sistema prescrito pelos órgãos decisores (Hillier & Lieberman, 2013). Esta fase é “crítica, pois é aqui, e somente aqui, que os frutos do estudo são colhidos” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 16).

O sucesso da implementação depende da participação da equipa responsável pelo estudo e desenvolvimento do sistema a implantar, do suporte dos órgãos decisores e das pessoas que vão operacionalizar o sistema. A boa comunicação entre todos ajuda a garantir que o estudo realiza o desejo dos órgãos decisores e também oferece aos gestores mais senso de propriedade do estudo, o que encoraja o apoio à implementação (Hillier & Lieberman, 2013).

A implementação envolve algumas etapas. Primeiramente, a equipa que desenvolveu o estudo explica cuidadosamente o novo sistema a ser adotado e como se operacionaliza¹³⁰. A seguir, avança-se para a implementação, pela partilha de responsabilidades e procedimentos necessários à operacionalização¹³¹. Com isto, a equipa

¹³⁰ A implementação da solução de um modelo validado envolve a tradução dos resultados em instruções operacionais inteligíveis, que serão emitidas para as pessoas que administrarão o sistema recomendado (Taha, 2008).

¹³¹ Dependendo do sucesso do sistema, este poderá ser utilizado por anos (Hillier & Lieberman, 2013).

de IO realiza uma monitorização inicial de acordo com as medidas adotadas, procurando identificar algumas modificações e auxiliar em questões operativas que surjam (Hillier & Lieberman, 2013).

É importante que, ao longo do período de utilização do sistema, haja *feedback* do comportamento do mesmo, seja verificado que as suposições continuam a ser satisfeitas e, caso ocorram desvios ao delineado inicialmente, determinar o que é necessário modificar (Hillier & Lieberman, 2013).

Após o término de um estudo, torna-se oportuno documentar a metodologia adotada de forma clara e precisa para que futuramente o trabalho possa ser reproduzível (Hillier & Lieberman, 2013). “A replicabilidade deve fazer parte do código de ética profissional do especialista em IO. Essa condição é particularmente crucial quando se estudam questões de política pública controversas.” (Hillier & Lieberman, 2013, p. 16).

APÊNDICE F – DESTACAMENTO TERRITORIAL DE OLIVEIRA DE AZEMÉIS

F.1. Introdução

Neste apêndice apresentam-se os dados¹³² estatísticos relevantes do DTer de OAz. Também são apresentadas todas as informações¹³³ consideradas pertinentes para perceber a atual realidade dos PTer no que respeita ao planeamento e elaboração dos giros, criminalidade e pontos sensíveis e, ainda, dificuldades e limitações vividas no patrulhamento diário.

Todo o levantamento de dados e informações realizou-se através da consulta das cartas de situação das diferentes ZA, do plano de proteção de pontos sensíveis, do registo de giros elaborados¹³⁴, do Sistema Integrado de Informações Operacionais Policiais (SIIOP)¹³⁵ e de entrevistas exploratórias (Apêndice D) realizadas ao Cmdt do DTer e a cada Cmdt de PTer.

F.2. Enquadramento

O DTer¹³⁶ de OAz depende organicamente do CTer¹³⁷ de Aveiro, sendo composto por seis PTer: Arouca, Castelo de Paiva, Cesar, Cucujães, OAz e Vale de Cambra.¹³⁸ Tem

¹³² Os dados “representam observações ou factos fora de contexto e por isso desprovidos de significado” (I. T. Lopes, 2013, p. 31). Estes são “apenas descritivos, não contendo juízos de valor” (Teixeira, 2013, p. 326).

¹³³ A informação “resulta da integração e da organização dos dados conferindo-lhes um sentido” (Teixeira, 2013, p. 326), sendo “o resultado de um tratamento, combinação ou organização de dados que nos permite concluir sobre determinado facto ou situação” (Lopes, 2013, p. 30-31).

¹³⁴ De acordo com a alínea j) do artigo 18º do RGSGNR, constitui como um dever dos Cmdts de PTer, ter a carta de situação sempre atualizada, destacando pontos e instalações sensíveis, planos de defesa e giros. No artigo 157º do mesmo diploma refere que as cartas topográficas e outros elementos indispensáveis ao estudo da situação e atividade operacional (cartas de situação) devem estar sempre atualizadas. As dos PTer devem incluir os giros a percorrer pelas rondas e patrulhas.

¹³⁵ O SIIOP é um Sistema informático, baseado num repositório único, centralizado e alargado a todo o dispositivo, que permite à Guarda o suporte à decisão/ação, baseado em informação alargada e em tempo real, bem como a uniformização de procedimentos em toda a hierarquia da GNR (J. Nunes, 2015).

¹³⁶ A missão dos DTer passa por manter a lei e a ordem, ajudar e proteger os cidadãos e vigiar o território, com especial incidência nos pontos sensíveis (GNR, 2009). Estes integram um Comandante, um Adjunto do Comandante, um Adjunto do comando que acumula com as funções de chefia da Secretaria, a Secretaria, a Secção de Transmissões, Informática e Eletrónica (STIE), o NIC, o NPA e a SPE (Brito, 2010). Cfr. Estrutura do DTer na p. 138 da OG n.º 5 (GNR, 2009).

¹³⁷ Cfr. Estrutura do DTer na p. 135 da OG n.º 5 (GNR, 2009).

¹³⁸ Cfr. ANEXO I da Portaria 1450/2008, de 16 de dezembro. De acordo com o artigo n.º 3 deste diploma e face à redução de efetivo atualmente existente, classificam-se em PTer tipo C.

à sua responsabilidade o patrulhamento de 751,1 km², sendo aquele que, do CTer de Aveiro, suporta maior área de patrulhamento.¹³⁹ A sua área está concentrada em 41 freguesias/união de freguesias¹⁴⁰, com 130.033 habitantes¹⁴¹, sendo a média de habitantes por militar nos vários PTer de 996 (Tabela n.º 5).

Tabela n.º 5 – Caracterização demográfica

PTer	Área (Km ²)	Freguesias a patrulhar (Nº)	Habitantes (Nº)	Efetivo (Nº)	Ratio (Militar/Habitante)
Arouca	282,93	13	18199	21	1/867
Castelo de Paiva	115,01	6	16199	20	1/810
Cesar	80,35	8	18552	20	1/928
Cucujães	26,56	4	17448	19	1/918
OAz	100,04	10	36771	26	1/1414
Vale de Cambra	146,21	7	22864	22	1/1039
Total	751,10	48	130033	128	-
Média	125,18	8	21672	21	1/996

Fonte: DTer de OAz

Segundo o quadro de referência¹⁴², o Comando do DTer de OAz possui um efetivo reduzido (Tabela n.º 6).

¹³⁹ O DTer de Águeda tem a sua responsabilidade 632 km², DTer Anadia: 425 km², DTer Aveiro: 371 km², DTer Ovar: 307 km² e DTer Santa Maria da Feira: 216 km² (dados recolhidos no DTer de OAz).

¹⁴⁰ Decorrente da última reestruturação autárquica.

¹⁴¹ Dados referentes a Censos 2011.

¹⁴² Ordem à Guarda n.º 5, p. 144.

Tabela n.º 6 – Efetivo do DTer de OAz

Postos	Comando	PTer Arouca	PTer Castelo de Paiva	PTer Cesar	PTer Cucujães	PTer OAz	PTer Vale de Cambra	Total
Oficiais	2	--	--	--	--	--		2
Sargentos	3	1	1	1	1	1	1	9
Cabos	13	3	7	3	6	6	6	44
Guardas Principais	5	1	5	2	6	5	6	30
Guardas	--	16	7	14	6	14	9	66
TOTAL	23	21	20	20	19	26	22	151

Fonte: DTer de OAz

Perante estes dados, torna-se importante realizar um patrulhamento integral e, ao mesmo tempo, eficiente, que comporte toda a área de responsabilidade, mas também um patrulhamento de proximidade que vá ao encontro das necessidades da população residente. Durante o ano de 2016, efetuaram-se 9.882 patrulhamentos, correspondendo a 382.893 Km percorridos. Dos vários meios de deslocamento, o patrulhamento auto¹⁴³ foi aquele que mais quilómetros registou, ultrapassando em largo número o patrulhamento moto e apeado (Tabela n.º 7).

Tabela n.º 7 – Patrulhamentos 2016

PTer	Patrulhamentos 2016							
	Auto		Moto		Apeado		Total	
	Nº	Km	Nº	Km	Nº	Km	Nº	Km
Arouca	1253	59125	0	0	413	11034	1666	70159
Castelo de Paiva	1352	63939	0	0	73	1586	1425	65525
Cesar	1473	68457	0	0	76	684	1549	69141
Cucujães	1393	49645	1	46	66	633	1460	50324
OAz	1781	66193	37	1329	139	2072	1957	69594
Vale de Cambra	1695	56278	14	338	116	1534	1825	58150
Total	8947	363637	52	1713	883	17543	9882	382893

Fonte: DTer de OAz (SIOP)

¹⁴³ Devido, não só, à grande velocidade de deslocação e alcance num maior raio de ação, o patrulhamento auto permite também uma maior segurança e autoconfiança aos militares (GNR, 1997).

Para a realização do patrulhamento auto e moto torna-se indispensável o recurso ao combustível. Assim, o CTer de Aveiro distribui uma dotação de litros de combustível anual a cada DTer e este, posteriormente, reparte internamente (Comando, NIC, NPA e SPE) e pelos respetivos PTER.¹⁴⁴ Por força do desgaste das viaturas e devido ao grande número de quilómetros percorridos pelas mesmas, das 47 atribuídas ao DTer, apenas 29 se encontram operacionais¹⁴⁵ (Tabela n.º 8).

Tabela n.º 8 – Estado das Viaturas e Dotação anual de combustível 2017

Comando, Núcleos, Secção e PTER	Estado das viaturas			Dotação anual de combustível 2017 (Litros)
	Inoperacionais (Nº)	Condicionadas (Nº)	Operacionais (Nº)	
Comando	0	0	2	1200
NIC	1	0	3	2880
NPA	0	0	3	2040
SPE	0	0	1	1200
Arouca	0	1	6	5760
Castelo de Paiva	2	0	4	5760
Cesar	3	0	1	5340
Cucujães	1	0	4	4740
OAz	3	3	3	7680
Vale de Cambra	3	1	2	6000
Total	13	5	29	42600

Fonte: DTER de OAz

F.3. Criminalidade e pontos sensíveis

Atualmente, cada Cmdt de PTER faz uma análise atenta da evolução da criminalidade, sinistralidade e outras situações ilícitas e contraordenacionais, quer rodoviários quer de âmbito geral. Por força desta análise, verifica-se que existem locais que obrigam a uma vigilância mais profunda e a uma intervenção, quando necessária, de

¹⁴⁴ A dotação de combustível atribuída constitui, segundo informação recolhida, uma limitação ao número de patrulhamentos realizados. Todavia, devido à redução de efetivo e consequente redução do policiamento, essa limitação torna-se menos frequente.

¹⁴⁵ Dados recolhidos em 4 de março de 2017. Existe uma mutação constante na operacionalidade das viaturas, devido ao serviço diário, avarias e reparações.

forma a evitar o aumento de ilícitos e comportamentos desviantes.¹⁴⁶ A criminalidade existente nas diversas ZA de cada PTER caracteriza-se por:

- Injúrias e difamação;
- Ameaças;
- Crimes de ofensas à integridade física simples;
- Crimes contra a propriedade e furtos em residências;
- Furto simples;
- Furto qualificado, em razão do *modus operandi*;
- Contrafação em mercados municipais;
- Dano;
- Condução sob influência do álcool;
- Condução sem habilitação legal;
- Acidentes rodoviários;
- Violência doméstica¹⁴⁷.

Face a estas situações, os Cmdts de cada PTER têm em consideração e estabelecem como missão às patrulhas, não só uma prevenção geral da criminalidade, mas também um policiamento junto das escolas e jardins de infância, instituições bancárias, farmácias, centros de saúde, serviços postais e correios, tribunais, edifícios públicos, aglomerados populacionais, postos de combustível, caixas multibanco, ourivesarias, zonas comerciais e industriais, rotundas, estradas, cruzamentos, pontes e túneis com volume de trânsito considerável e locais propícios a acidentes de viação.

De seguida, apresenta-se uma tabela (Tabela n.º 9) relativa às zonas sensíveis que cada Cmdt de PTER considera serem relevantes para elaboração e atualização das missões e giros diários, culminando num patrulhamento mais eficaz. Esta ação é extremamente importante para evitar procedimentos de risco e obter uma maior presença e sentimento de segurança junto da população. Devido à grande variedade de dados recolhidos, optou-se por agrupá-los em vários itens para uma melhor perceção e interpretação dos mesmos.

¹⁴⁶ Devido à existência de bastantes zonas industriais, comerciais e turísticas, com bastante património cultural e recreativo.

¹⁴⁷ Sendo um crime grave não deixa de ser denunciado momentaneamente, uma vez que a grande maioria das vítimas, em sede de Ministério Público, permitem a suspensão do processo.

Tabela n.º 9 – Pontos sensíveis por PTer

Zonas sensíveis	PTer					
	Arouca	Castelo de Paiva	Cesar	Cucujães	OAz	Vale de Cambra
Câmara Municipal/Junta de freguesia	1	1	7	-	1	-
Centro de saúde/Lar/Farmácias	4	-	5	1	-	2
Centro de Transporte	1	1	1	-	-	1
Centro e aglomerados populacionais	13	-	6	7	21	3
Complexo desportivo	-	-	1	-	2	-
CTT/Segurança Social/Finanças	1	-	1	3	-	1
Estabelecimento de ensino	8	-	3	4	3	4
Estação de tratamento de água/central elétrica/ponte	-	11	-	2	-	-
Igreja/Capela	3	-	5	1	9	1
Instituição bancária	4	-	-	1	1	-
Ponto turístico	3	-	-	-	1	-
Posto de combustível	5	3	3	-	1	2
Rotunda/cruzamento	9	-	3	1	7	10
Tribunal/Conservatória	2	1	-	-	1	-
Via rodoviária	6	-	8	1	10	1
Zona comercial	2	-	3	1	3	-
Zona de diversão noturna/bar	1	-	-	-	3	-
Zona industrial	4	2	5	4	1	-
Total	67	19	51	26	64	25

Fonte: DTer de OAz

F.4. Planeamento e elaboração de giros

Por força do atual contexto criminal, torna-se importante ter um planeamento que tenha em conta as necessidades e situações registadas em cada ZA. Atualmente, nos PTer do DTer de OAz existem registos de giros pré-elaborados. Os giros são planeados de acordo com os já existentes e, caso a caso, dependendo do serviço operacional ou de acordo com os militares a escalar, fazem-se reajustes ao pré-estabelecido.¹⁴⁸ Os Cmdts de PTer fazem as próprias rotas de acordo com o serviço policial pendente e o volume de

¹⁴⁸ Nomeadamente, dependendo do dia da semana ou fim de semana ou se existirem eventos culturais e ou desportivos.

ocorrências em cada ZA. Não existe um critério rígido para o efeito, dependendo do efetivo nomeado para a escala. Os giros são elaborados na Guia de Patrulha, devidamente ordenados e de acordo com o RGSGNR.

Para além das patrulhas às ocorrências, efetuam-se patrulhamentos auto, moto e/ou apeados nos centros das cidades, freguesias e/ou união de freguesias, vias mais movimentadas, de acordo com a análise realizada a cada ZA. O racional existente para a escolha dos giros reside sobretudo na época do ano, horários em que são realizados, número de militares, meio de deslocamento, zonas críticas¹⁴⁹ e tipo de criminalidade, que depende da ZA de cada PTer.

F.5. Dificuldades e limitações

Durante as entrevistas exploratórias realizadas aos vários Cmdts de PTer, foi também possível proceder ao levantamento de dificuldades com que os mesmos se deparam no dia a dia. As principais situações reportadas verificam-se ao nível da gestão do pouco efetivo disponível para o serviço, decorrente, não só de acontecimentos diários e estado dos militares, como sejam os vários tipos de licenças¹⁵⁰, incapacidade temporária e/ou impedimentos por doença, folgas semanais ou mensais, militares em diligência ou outras situações, mas também do agravamento dessa gestão resultante da implementação da NEP/GNR – 3.01.06¹⁵¹.

Como já referido, o patrulhamento deve preencher as 24 horas do dia e toda a ZA. Os giros são delineados para esse efeito, de forma a promover a rotatividade das patrulhas e a garantir a cobertura da ZA. Todavia, fruto do reduzido número de militares em cada PTer e de acordo com a NEP/GNR – 3.01.06, os PTer poderão realizar, no máximo, três giros¹⁵². Por vezes, não é realizado nenhum giro, o que exige maior direcionamento na determinação da missão aos militares.

¹⁴⁹ Entenda-se zonas sensíveis, conforme nota de rodapé n.º 58.

¹⁵⁰ De acordo com o artigo 170º do RGSGNR.

¹⁵¹ A NEP/GNR – 3.01.06 de 22 de novembro de 2016 estabelece a regulamentação do horário de referência semanal. Segundo os Cmdts de PTer, esta NEP provoca alguns constrangimentos em virtude da rotatividade das folgas semanais. Antes da sua entrada em vigor, o efetivo, embora reduzido, era suficiente porque não haviam restrições legais para a nomeação dos militares para o serviço. Após a entrada em vigor, o efetivo torna-se manifestamente insuficiente porque não é possível satisfazer a necessidade do serviço e a escala de acordo com a lei. Assim, as necessidades do serviço ficam prejudicadas, prejuízo esse que advém das imposições legais do horário de referência da GNR. Perante isto, o efetivo dos PTer impõe a necessidade de ser aumentado em, no mínimo, de cinco a oito militares.

¹⁵² Giro realizado no período 0h-8h, 8h-16h e 16h-24h.

Devido à imprevisibilidade das ocorrências e à falta de efetivo, muitas vezes, a patrulha que realiza o giro é solicitada a atender à ocorrência. Para além do baixo efetivo em cada PTer e do número considerável de viaturas condicionadas e/ou inoperacionais, existem ainda restrições de planeamento, quando existem reforços e cedências de militares entre PTer.¹⁵³

As patrulhas não são portadoras de um GPS, pelo que, por vezes, o militar do atendimento tem de dar indicações às patrulhas de qual a rua pelo qual tem de passar para atender às ocorrências.

No caso das rondas realizadas às patrulhas, o Cmdt de DTer e os Cmdts de PTer têm de se deslocar ao próprio local onde se está a efetuar o policiamento para saber se o giro está a ser devidamente realizado. Atualmente, não existe forma de verificar no próprio DTer e/ou PTer se o giro está a ser cumprido ou onde se encontra a patrulha.¹⁵⁴ Constata-se que existe a necessidade de possuir mais efetivo em cada PTer, de realizar um maior número de patrulhamentos, de efetuar mais policiamento proativo (de agir e não só reagir) e de um acompanhamento real do posicionamento das patrulhas.

¹⁵³ De acordo com a Determinação n.º 03/16 do DTer de OAz – Mapa de reforços e cedências PO's (Patrulhas às Ocorrências) (confidencial).

¹⁵⁴ Apenas na Sala de Situação do CTer de Aveiro, através do SIIOP – G (Rádios) (anteriormente designado de SIG – SIRESP (Sistemas de Informação Geográfica dos meios SIRESP)), existe acompanhamento do posicionamento das patrulhas de todos os PTer do Distrito.

APÊNDICE G – INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DA GNR

G.1. Introdução

Atualmente, os SI estão presentes em múltiplas áreas de uma organização, agregando um conjunto de elementos de recolha, processamento e propagação de informação com o propósito de facilitar o planeamento, o controlo, a análise e o processo de tomada de decisão.

Num SI corrente, ágil e orientado em torno de um objetivo comum, os SI tornam o fluxo de informação menos burocrático e mais respeitador dos valores da organização. Desta forma, aumenta-se a veracidade da informação, reduzem-se os custos administrativos e operacionais e aumenta-se a produtividade, a segurança e a estabilidade do acesso à informação (Cabral, 2015).

Fruto da importância acrescida dos SI, nomeadamente, dos SIG, nesta investigação, este apêndice apresenta, de uma forma breve, um pequeno enquadramento dos SI na GNR e o seu alinhamento estratégico. Posteriormente, refere-se a importância do SIIOP – G, a realidade atual e alguns constrangimentos das ferramentas de suporte geográfico que a GNR possui, bem como as suas valências informáticas e oportunidades de evolução futura.

A recolha de dados realizou-se através de revisão bibliográfica, do Sistema Integrado de Informações Operacionais Policiais (SIIOP), da *intranet* da GNR, observação direta e de entrevistas exploratórias (Apêndice D) realizadas à Sr^a Eng^a Sónia Alexandre e ao TCor João Nunes.¹⁵⁵

G.2. Alinhamento estratégico

A importância da informação é um facto constatado nos dias de hoje e a GNR, querendo proporcionar “mais e melhor segurança”, identificou o papel dos SI como fundamentais para a persecução dos objetivos estratégicos para o horizonte 2015-2020¹⁵⁶

¹⁵⁵ Os dados recolhidos são cruzados entre as diversas fontes de informação, para uma maior credibilidade e veracidade do apêndice apresentado.

¹⁵⁶ Cfr. GNR, (2014). *Estratégia da Guarda 2020: uma Estratégia de Futuro*. Lisboa: Divisão de Planeamento Estratégico de Relações Internacionais.

Com o despacho n.º 83/2014 do Ex^{mo}. GCG foi constituído o Grupo de Trabalho para as Tecnologias de Sistemas de Informação na GNR (GT-TSI), que funciona na dependência direta do Cmdt Operacional. Este

(Correia, 2015). Um SI não é apenas composto por um plano aplicacional e tecnológico, compreendendo um conjunto de recursos que compõem a organização, gerando informação através do enriquecimento dos processos de trabalho, contribuindo, assim, para a melhoria do serviço prestado. Todos estes planos (Figura n.º 8) interagem entre si para atingir um objetivo comum¹⁵⁷ (P. Santos, 2015).



Figura n.º 8 – Arquiteturas fundamentais de um SI

Fonte: Santos (2015)

Com o intuito de modernizar, inovar e simplificar (Figura n.º 9), torna-se necessário tomar medidas e ações de curto prazo e potencializar projetos de médio e longo prazo, que contribuam de forma significativa para uma melhor gestão dos recursos e maior eficácia e eficiência dos SI e de toda a infraestrutura tecnológica (L. Nunes, 2015).

tem como missão, garantir a gestão dos projetos transversais na Guarda e o controlo, direção, coordenação, execução das atividades da Guarda em matéria de sistemas e tecnologias da informação (Correia, 2015).

¹⁵⁷ No serviço operacional da GNR, a precedência é um fator muito importante e as estratégias deverão convergir no uso sistemático de dispositivos e SI orientados para recolha e análise holística de informação. Informação essa, importante para as tomadas de decisão em diferentes cenários criminais para, posteriormente transformá-la em conhecimento preditivo (P. Santos, 2015).



Figura n.º 9 – Alinhamento entre os valores institucionais da Guarda, as Linhas de Orientação Estratégicas e os Objetivos Estratégicos das TSI, no Horizonte 2015-2020

Fonte: L. Nunes (2015)

Assim, no âmbito da informação geográfica, é objetivo da GNR (L. Nunes, 2015):

- Introduzir a utilização de sistemas de informação geoespacial, de forma a obter padrões criminais, e efetuar uma *geoprofiling*, para prevenir comportamentos criminais e reduzir a probabilidade de ocorrência de acidentes;
- Ajustar as capacidades das Salas de Situação (SSit) para operarem como Centros de Fusão, em tempo real, através da recolha dos dados oriundos do patrulheiro, produzindo inteligência após colaboração com outros temas e atribuindo missões ou alocando elementos no terreno;
- Fornecer uma viatura a cada PTer com capacidade de tração às quatro rodas, disponibilizando um meio eletrónico (equipada com sistema GPS com visualização de cartografia militar), o que permite navegar até determinada ocorrência.

G.3. A importância do SIIOP – G

O CO é suportado por SI que garantem o apoio à tomada de decisão (Tabela n.º 10). Decisões essas que são transversais a toda a componente operacional, as quais necessitam de agregadores de informação fidedigna e atempada para potenciar soluções e satisfazer os novos desafios da instituição¹⁵⁸ (J. Nunes, 2015).

¹⁵⁸ De acordo os SI referentes à atividade efetuada no CO, o SIIOP e o SIG – GNR foram identificados como SI estratégicos e ferramentas importantes para o projeto de interoperabilidade da GNR (J. Nunes, 2015). Desta forma, assegurada a correta interoperabilidade entre os SI, torna-se possível a partir dos dados,

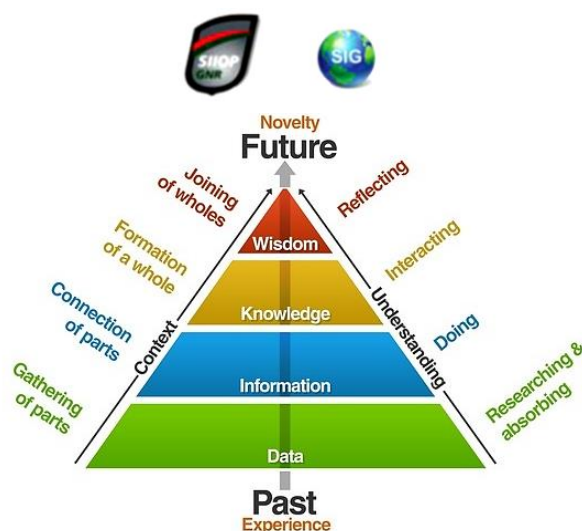


Figura n.º 10 – Pirâmide DIKW da atividade futura da GNR

Fonte: Adaptado de Vaes (2013) e de J. Nunes (2015)

Com o intuito de refinar, desburocratizar e incrementar eficácia e eficiência aos processos, o SIIOP passou a ser o único sistema em uso na GNR, o qual constitui um conjunto de módulos aplicacionais¹⁵⁹ (Tabela n.º 10).

Tabela n.º 10 – Os SI da Componente Operacional da GNR¹⁶⁰

Antigos SI	Atuais SI
-	<i>E-Briefing</i>
-	<i>GNR Mobile</i>
Sistema de Gestão de Salas de Situação (SG2S)	SIIOP – 2S (Salas de Situação) ¹⁶¹
Sistema de Gestão Operacional/SITREP ¹⁶² (SGO-SITREP)	SIIOP – O (Ocorrências)
Sistema de Gestão Rodoviária (SGR)	SIIOP – T (Trânsito)
Sistema de Gestão SEPNA ¹⁶³ (SGS)	SIIOP – A (Ambiente)
Sistema de Informação Geográfica da GNR (SIG – GNR)	SIIOP – G (Georreferenciação) (Temas)
Sistema de Informação Geográfica dos meios SIRESP ¹⁶⁴	SIIOP – G (Georreferenciação) (Rádios)
Sistema Integrado de Informações Operacionais de Polícia (SIIOP)	SIIOP – P (Principal)

Fonte: Elaboração Própria

adquirir informação e consequentemente conhecimento, estimulando a sabedoria e a antecipação de situações futuras (Figura n.º 10) (J. Nunes, 2015).

¹⁵⁹ Por despacho do Exmo. TGCG, de 08 de abril de 2016, à Informação n.º 05/GTTSI/2016. Cfr. NEP 8.80 - SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES OPERACIONAIS POLICIAIS (SIIOP).

¹⁶⁰ Para além destes, o SIIOP comporta ainda o módulo SIIOP – D (Documental).

¹⁶¹ Comporta o COP (*Common Operational Picture*).

¹⁶² *Situation Report*.

¹⁶³ Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente.

¹⁶⁴ Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal.

Estes módulos agregam e organizam informação atualizada e centralizada com o objetivo de assegurar o cumprimento da missão da GNR. Com esta uniformização pretende-se fornecer um maior suporte à tomada de decisão extensível a toda a estrutura hierárquica.¹⁶⁵

A georreferenciação, sendo um requisito transversal a toda a informação incluída nos vários módulos, torna o SIIOP – G um pilar fundamental no registo, consulta e análise de informação geográfica e um componente potenciador da interoperabilidade que se pretende atingir. Este possui como principais funcionalidades e vantagens:¹⁶⁶

- Registo de informação geográfica e apoio aos demais módulos geográficos;¹⁶⁷
- Visualização de eventos, por categorias, de acordo com a parametrização de dados particulares;¹⁶⁸
- Georreferenciação dos meios SIRESP relacionados aos registos do SIIOP – 2S, admitindo a sua visualização em tempo quase real pelo território;
- Suporte à análise de dados e à projeção de forças de acordo com dados históricos tratados.¹⁶⁹

G.4. Das dificuldades aos desafios futuros

As ferramentas e os meios usados têm de acompanhar as necessidades atuais e futuras e a evolução da tecnologia e da ciência, para o reforço das potencialidades existentes. É expectável que o SIIOP – G o faça, contudo, verificam-se ainda dificuldades neste acompanhamento, devido ao recente avanço desenvolvido nesta área.

Atualmente, na Sala de Situação do CTer de Aveiro não existe uma ligação direta entre o SIIOP – 2S e o SIIOP – G (Rádios), verificando-se ainda um atraso na atualização do posicionamento das patrulhas no terreno. Sempre que ocorre uma ocorrência numa determinada ZA, esta, sendo registada no SIIOP – 2S, é comunicada ao respetivo PTer para atender à mesma. O procedimento ideal seria verificar de imediato no SIIOP – G (Rádios) o posicionamento da patrulha mais próxima (distância e tempo de viagem) e

¹⁶⁵ Cfr. NEP 8.80.

¹⁶⁶ Cruzamento de várias fontes, nomeadamente, Alexandre (2015) e NEP 8.80.

¹⁶⁷ Através da manipulação, consulta e análise de informação referenciada a um determinado espaço geográfico, fornece apoio a nível operacional e estratégico.

¹⁶⁸ Obtém-se informação de acordo com atributos alfanuméricos e a dedução de vizinhança, proximidade, sobreposição e a ligação entre dados.

¹⁶⁹ Sistema decisivo para simular cenários de ocorrências, criar mapas de pontos/zonas sensíveis (real e potencial) e apoio na avaliação das características demográficas, económicas, sociais e físicas do espaço.

solicitar o deslocamento para o local indicado.¹⁷⁰ Para que se consiga efetivar na prática este procedimento, é necessária uma rede viária totalmente segmentada e referenciada a nível urbano e municipal¹⁷¹ e, ainda, a ligação entre o SIIOP – 2S e SIIOP – G (Rádios), a qual permitiria decidir qual a melhor patrulha a responder a determinada ocorrência.¹⁷²

O posicionamento é uma necessidade óbvia que surge na operacionalização do SIIOP -G, no qual é possível, para além do formato definido,¹⁷³ pesquisar determinado local através de coordenadas no formato decimal (DD) e em graus, minutos e segundos (DMS). Todavia, na inscrição das coordenadas em sistema por parte dos PTER, ainda ocorrem erros de registo das ocorrências (sinistralidade e criminalidade), o que conduz, por vezes, à falta de rigor na localização do incidente e ao registo de dados e informação enviesada.

Outro fator que tem um peso primordial é o custo efetivo do desenvolvimento aplicacional. O SIIOP – G (Rádios) está assente numa base *open-source*, ao contrário do SIIOP – G (Temas)¹⁷⁴, porém alguns trabalhos realizados nos CTER são elaborados com recurso a *software open-source*¹⁷⁵. O SIIOP – G (Temas) encontra-se disponível na *intranet* e com possibilidade de acesso a todo o dispositivo territorial, ao contrário do SIIOP – G (Rádios) em que só é permitido o acesso, além do Cmdt do Comando Operacional, às SSit dos CTER.¹⁷⁶

No SIIOP – G (Temas) é possível observar as áreas e os limites de cada DTER e PTER (Figuras n.º 11 e 12), índices de criminalidade¹⁷⁷ (Figuras n.º 13 e 14) e a análise de *hotspots* (Figuras n.º 15 e 16).

¹⁷⁰ Conforme observação direta com o Tenente Marques, dia 11 de março de 2017, pelas 11h e 20m, no DTER de OAZ.

¹⁷¹ Inexistência de uma rede estradal segmentada e referenciada a nível municipal.

¹⁷² Através de isócronas a 5, 10, 15 e 30m já pré-estabelecidas no SIG – GNR (J. Nunes, 2015).

¹⁷³ Através da Circular nº 1/DCSI/2014, foi definido o sistema de coordenadas da GNR, tendo por base o formato disponibilizado pelos rádios SIRESP: “Graus, Minutos Decimais”

¹⁷⁴ Ao nível da infraestrutura em si, a GNR utiliza recursos *open-source*. Se a tecnologia de mapas for *open-source*, o SIIOP – G é *open-source*, contudo a tecnologia de mapas atual é baseada em servidor *ArcGIS*, configurando, neste caso, uma versão licenciada (o SIIOP – G (Rádios) baseia-se nas informações presentes no SIIOP – G (Temas)). Atualmente encontra-se em fase de testes a desenvoltura de servidores em *OpenStreetMaps (open-source)*. Conforme observação direta com o Tenente Augusto, no dia 26 de abril de 2017, pelas 16 horas e 15 minutos, no Comando-Geral da GNR.

¹⁷⁵ Nomeadamente o registo da informação criminal recolhida pelo CTER de Setúbal. Grande parte dos antigos SI da GNR foram desenvolvidos com recursos internos, dando especial importância às estruturas *open source* (livres e gratuitas) (M. Machado, 2015).

¹⁷⁶ A cada tipo de utilizador é atribuído um perfil, com restrições de acesso a determinadas informações/ferramentas.

¹⁷⁷ Frequência relativa e diferença absoluta.

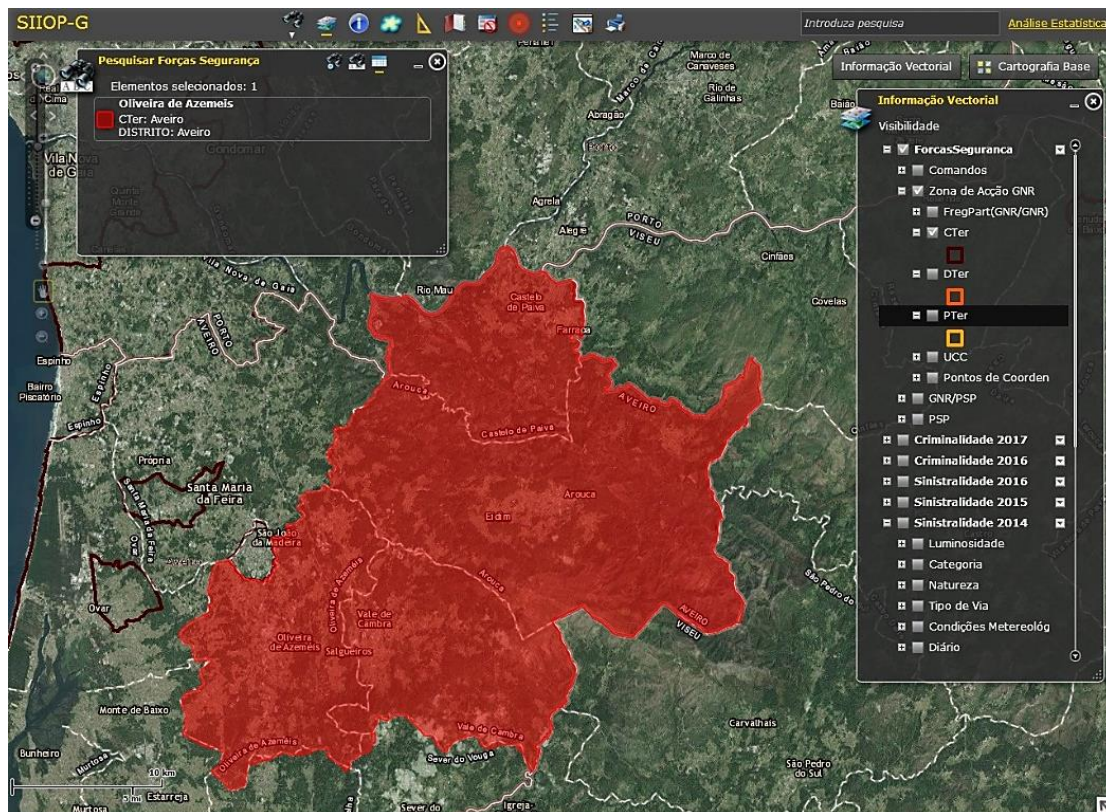


Figura n.º 11 – Área do DTer de OAZ

Fonte: SIOP – G (Temas)

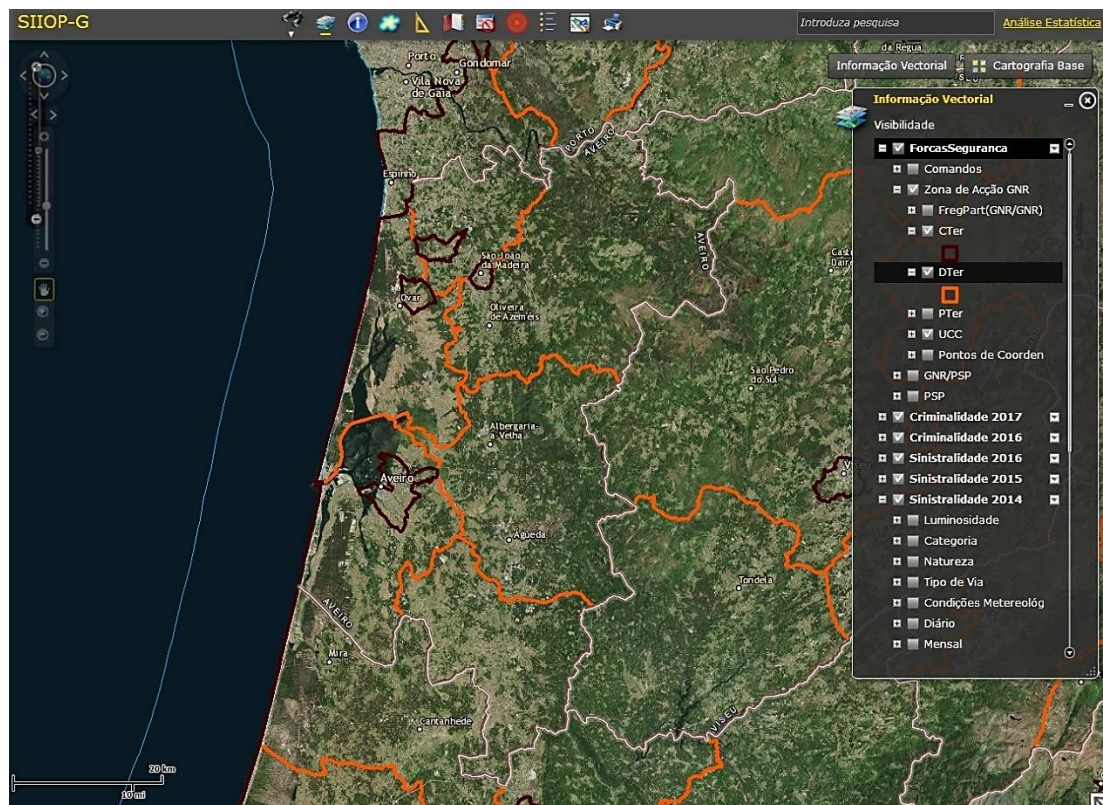


Figura n.º 12 – Limites das áreas do CTer de Aveiro

Fonte: SIOP – G (Temas)

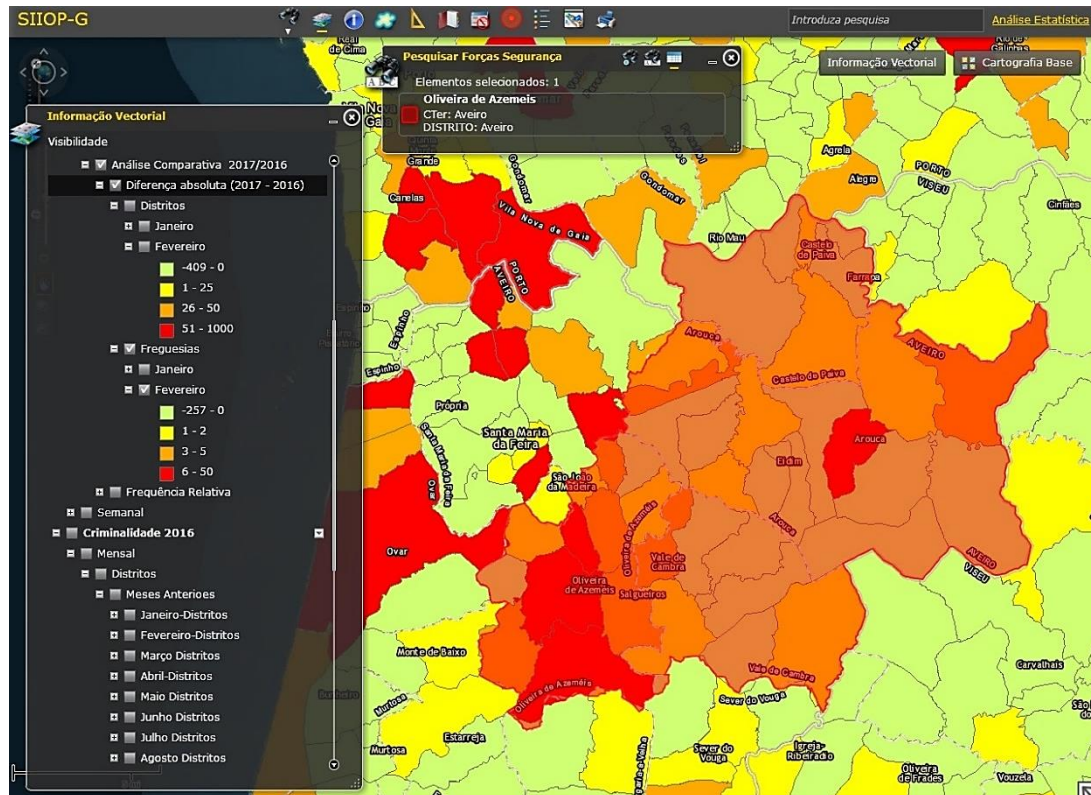


Figura n.º 13 – Diferença absoluta da criminalidade registada no DTer de OAz (2017-2016)

Fonte: SIIOP – G (Temas)

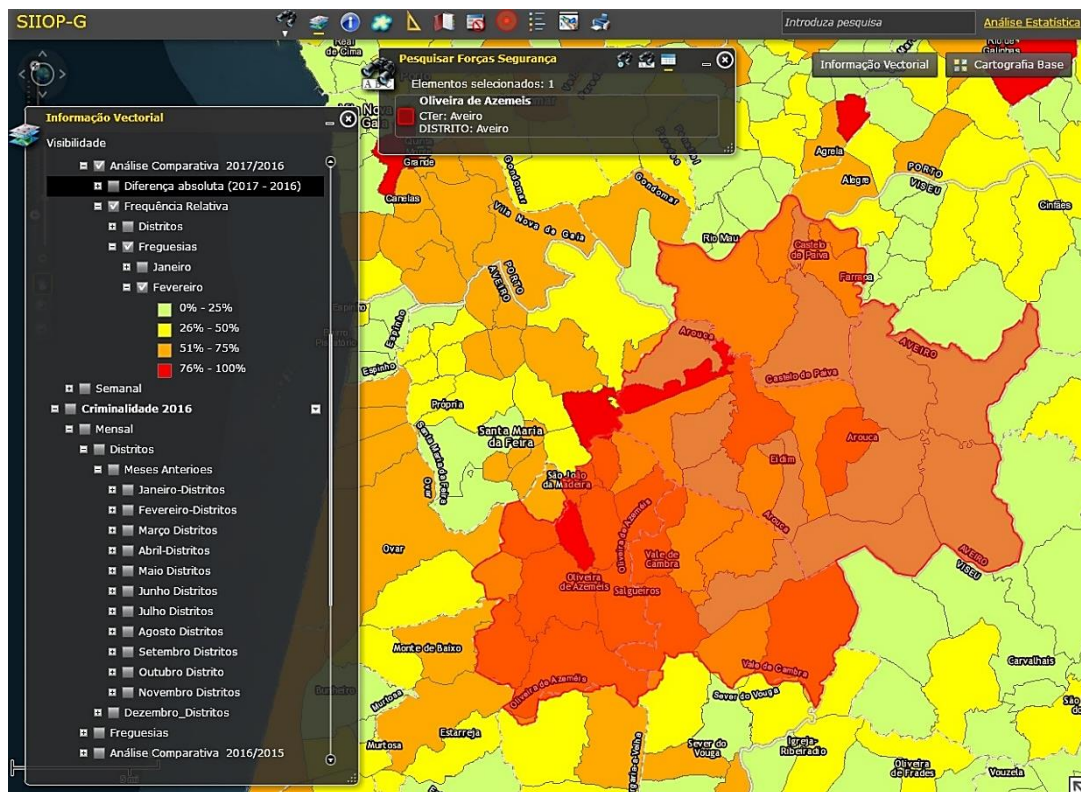


Figura n.º 14 – Frequência relativa da criminalidade registada no DTer de OAz (2017-2016)

Fonte: SIIOP – G (Temas)

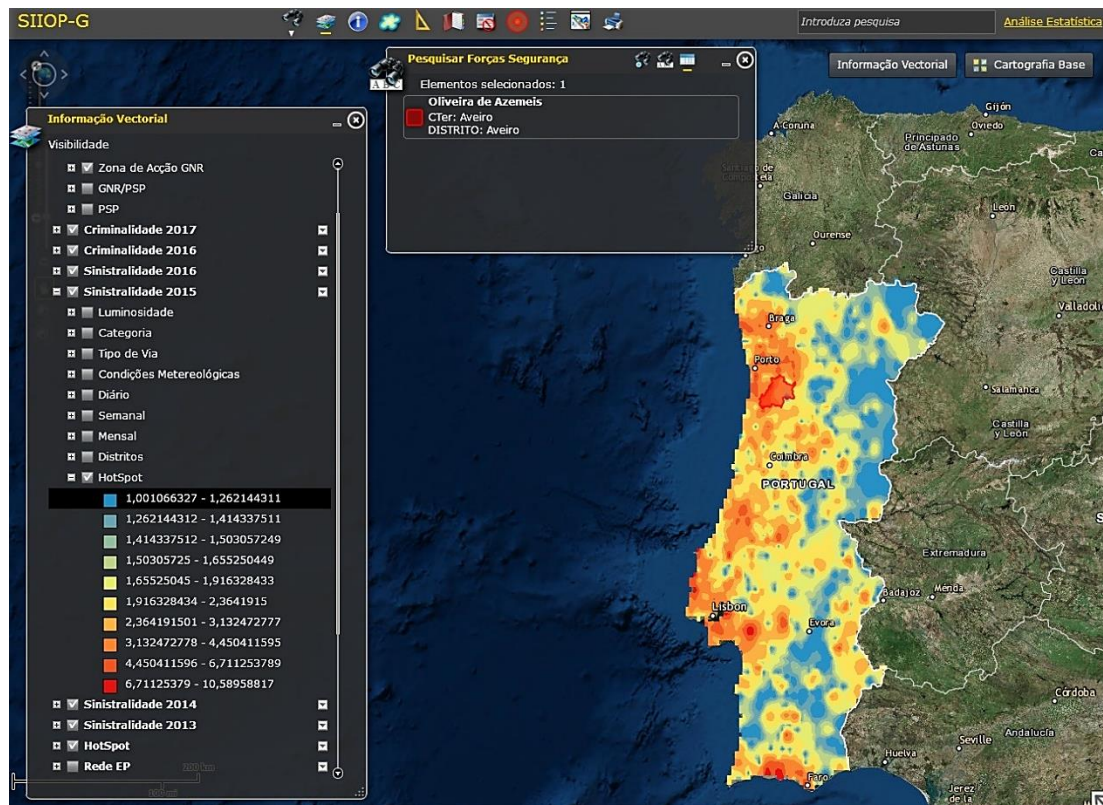


Figura n.º 15 – Hotspots registados em Portugal Continental

Fonte: SIOP – G (Temas)

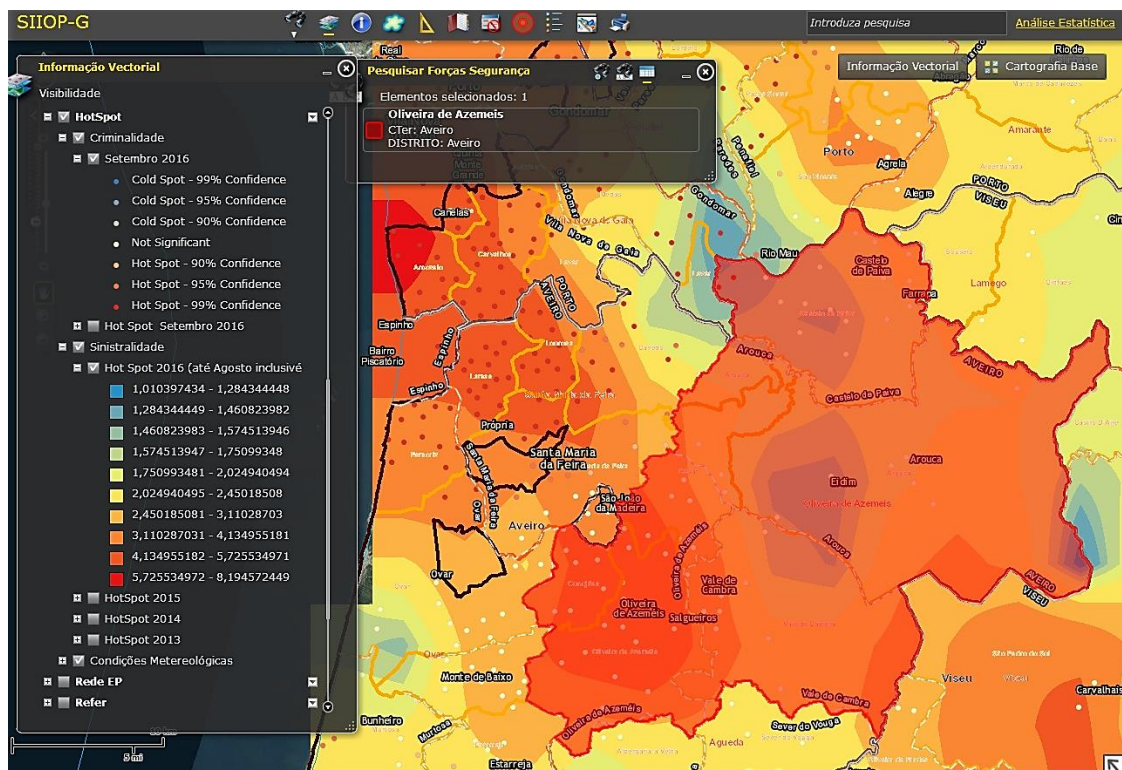


Figura n.º 16 – Hotspots registados no DTer de OAz

Fonte: SIOP – G (Temas)

Atualmente, as bases de dados de cada módulo aplicativo do SIIOP ainda se encontram separadas, adquirindo informação dos anteriores SI e, apesar da GNR possuir um servidor ArcGIS, apenas comporta uma licença concorrente e flutuante operada por um utilizador. Para ocorrer uma descentralização teria de se adquirir licenças com acesso ao servidor. Não como uma solução ecuménica, mas como um recurso promissor, surge um projeto designado de “GeoMAI” – SIG do MAI¹⁷⁸, o qual visa criar condições para a disponibilização transversal de um Sistema sinérgico, com maior rentabilização de investimentos (Figura n.º 17).

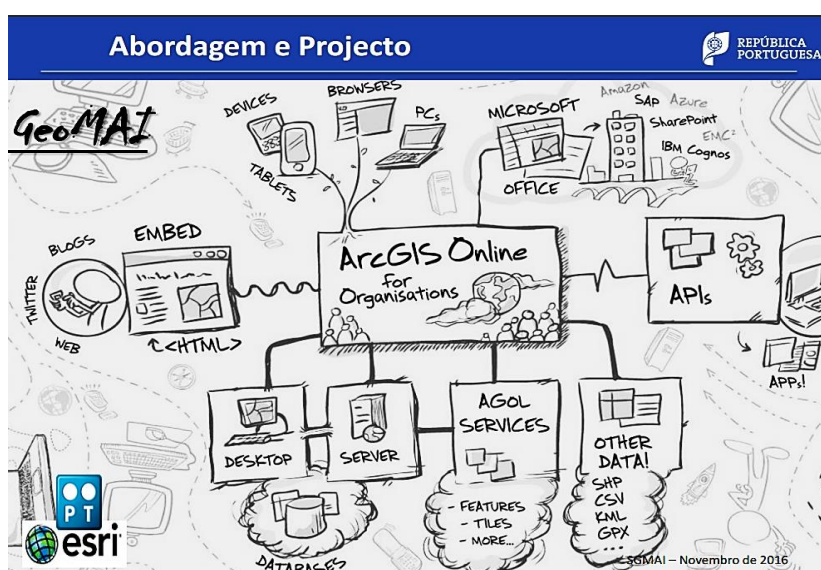


Figura n.º 17 – Projeto GeoMAI

Fonte: Gomes (2016)

Este projeto, num futuro próximo, pretende (SGMAI, 2017):

- Disponibilizar um conjunto de instrumentos e soluções que proporcionam um aumento da rapidez e eficácia na incorporação de dados referentes a fenómenos socio-criminais e da respetiva análise, bem como sustentar a gestão e decisão;
- Em espaço público, dar apoio tático às operações policiais de combate à criminalidade;

¹⁷⁸ Através da aprovação da candidatura PT/2016/FSI/121 - GeoMAI - Alargamento - Comando e Controlo/Análise estatística/Inteligência e Previsão, da Secretaria-Geral do MAI (SGMAI) sendo o montante do cofinanciamento a atribuir de 784.000,01 €. Tem como período de realização prevista, 01-01-2017 a 01/01/2020 (SGMAI, 2017). O Fundo para a Segurança Interna (FSI) tem como grande objetivo contribuir para fomentar um elevado padrão de segurança na União (SGMAI, 2016).

- Disponibilizar informação geográfica, a nível regional e central, no contexto da gestão de risco;¹⁷⁹
- Desenvolver a interoperabilidade de sistemas, a aquisição de informação estruturada para a prevenção e combate à criminalidade, a direção e racionalização de recursos e, ainda, a criação de estatísticas consonadas.

Este SI é composto por uma arquitetura modular que, através de dados credenciados e ajustáveis às estruturas das entidades do MAI, possibilita complementar todos os SI já existentes nas Forças e Serviços de Segurança (FSS) e Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), sendo assim desenvolvido de forma estruturada com estas entidades (SGMAI, 2014).

Nunca é demais afirmar que a informação geográfica é fundamental em forças de segurança e a GNR não é exceção, sendo uma força que se encontra presente em 94% do país e que lida diariamente com situações imprevisíveis. A imprevisibilidade requer antecipação, ação, testes a cenários e informação atempada para produzir tomadas de decisão oportunas e assertivas, com o intento de minimizar a insegurança e exponenciar a segurança.

G.5. A chave da mudança

Os SI não são ainda ferramentas de apoio diário extensíveis a todo o dispositivo da GNR, nem todo o leque de informação geográfica disponível internamente, um potenciador para a melhoria do serviço operacional. Verificam-se registos em suporte papel desnecessários, insuficiências na utilização dos SI nos processos de trabalho e um baixo grau de automatização (Bessa, 2015).

Neste sentido, a resiliência compreende dois elementos essenciais: a vulnerabilidade e a capacidade adaptativa. A vulnerabilidade é a relação do estado de equilíbrio-desequilíbrio, após um acontecimento imprevisível. A capacidade adaptativa é mensurável pelo grau de mudança após o acontecimento (Bessa, 2015). A GNR é evidentemente, uma instituição resiliente, a qual já demonstrou que os constrangimentos e barreiras decorrentes da aplicação de novos SI não conseguiram desviar o propósito estratégico (Bessa, 2015) na procura de novas e melhores soluções para o futuro.

¹⁷⁹ Tal como exposto na Lei de Bases da Segurança Interna e em coerência com as normas aplicáveis a nível nacional e europeu (SGMAI, 2017).

APÊNDICE H – FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO

H.1. Introdução

Neste apêndice apresentam-se as quatro ferramentas de apoio à decisão, testadas e validadas, para a resolução do modelo de otimização de rotas construído. Descreve-se, de uma forma breve, a Heurística de CW, *OptiMap*, *LORE*[®] e *ArcMap*[®], elencando os aspetos mais relevantes e significativos, potenciadores de sucesso na GNR.

H.2. Heurística de Clarke e Wright

Uma das heurísticas mais antigas e conhecidas na história da otimização¹⁸⁰, sustentada no conceito “*savings*”, foi proposta por CW (1964), tendo por base servir dois clientes de forma sequencial e na mesma rota em vez de o fazer separadamente (Cordeau et al., 2007). O método foi projetado para resolver um VRP, no qual, a partir de um depósito de mercadorias, têm de ser entregues determinadas quantidades a um número específico de clientes. Cada veículo aplicado na solução deve cobrir uma rota, começando e terminando no depósito. O problema compreende a alocação sequencial dos clientes e dos veículos entre rotas e o objetivo consiste em minimizar os custos totais de transporte (Lysgaard, 1997).¹⁸¹

O algoritmo funciona por iterações da seguinte forma (Heinen, 2005): após a criação de um grafo ponderado, representando os clientes, os possíveis caminhos e o depósito, são criadas $n - 1$ rotas iniciais (n é o número de nós do grafo), ou seja, cada cliente encontra-se ligado ao depósito. Para facilitar este procedimento, utiliza-se uma tabela de dupla entrada para registo das distâncias entre pontos e de cada um destes ao depósito. De seguida, calculam-se as economias/poupanças (*savings*) para todas as combinações através da fórmula (Cordeau et al., 2007),

¹⁸⁰ Posteriormente, surgiram outros algoritmos mais sofisticados baseados nesta heurística (Heinen, 2005).

¹⁸¹ A solução deveria satisfazer algumas restrições: cada cliente é visitado exatamente uma vez; as quantidades exigidas são entregues; e a procura total da rota não devia exceder a capacidade total do veículo (Lysgaard, 1997).

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij} \quad (1)$$

sendo que, S_{ij} (1) representa a economia gerada na união das rotas entre os nós i e j , o C_{ij} representa o custo de deslocação de i para j (Heinen, 2005) e 0 representa o depósito. Se S_{ij} for positivo, então servir i e j torna-se rentável¹⁸² (Cordeau et al., 2007).

Posteriormente, as economias são colocadas em tabela e ordenadas de forma decrescente. Iniciando pela maior economia, verifica-se se é possível unir as rotas que contêm os nodos i e j .¹⁸³ O procedimento continua com o próximo par de nós da tabela de economias até ao último item ou até que não hajam mais rotas a serem convencionadas. Na Figura n.º 18 está presente um exemplo, onde 0 representa o depósito e os nós de 1 a 4 representam os pontos de visita (clientes) (Heinen, 2005).

i	j	$C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$	S_{ij}
1	2	$8 + 10 - 4$	14
1	3	$12 + 8 - 6$	14
2	3	$10 + 12 - 9$	13
3	4	$12 + 5 - 10$	7
1	4	$8 + 5 - 10$	3

Figura n.º 18 – Aplicação da fórmula e respetivo resultado

Fonte: Heinen (2005)

Como referido acima, são traçadas rotas para cada um dos clientes (Figura n.º 19 (a)) e, em seguida, através da fórmula (1), são geradas as economias (Heinen, 2005).

Após verificação que os nós 1 e 2 se encontram em extremos opostos, estes são ligados entre si e cada um ao depósito (Figura n.º 19 (b)). Seguidamente, une-se os nós 1 e 3 (próximo item da tabela) (Figura n.º 19 (c)) e continua-se o processo para a linha

¹⁸² Vulgarmente, uma fusão de rotas apenas é aceitável se a economia associada for não negativa, contudo, se o número de veículos for minimizado, então essa economia negativa também podem ser considerada (Cordeau et al., 2007).

¹⁸³ As rotas podem ser combinadas, se ambos os nós estiverem em extremos opostos de rotas diferentes e se a união não violar nenhuma das restrições do modelo (capacidade de carga dos veículos, limite de combustível, janela de tempo, entre outras) (Heinen, 2005).

seguinte.¹⁸⁴ Verifica-se que os nós 2 e 3 já se encontram na mesma rota e unem-se os nós 3 e 4 (Figura n.º 19 (d)), terminando o processo de união de rotas (Heinen, 2005).

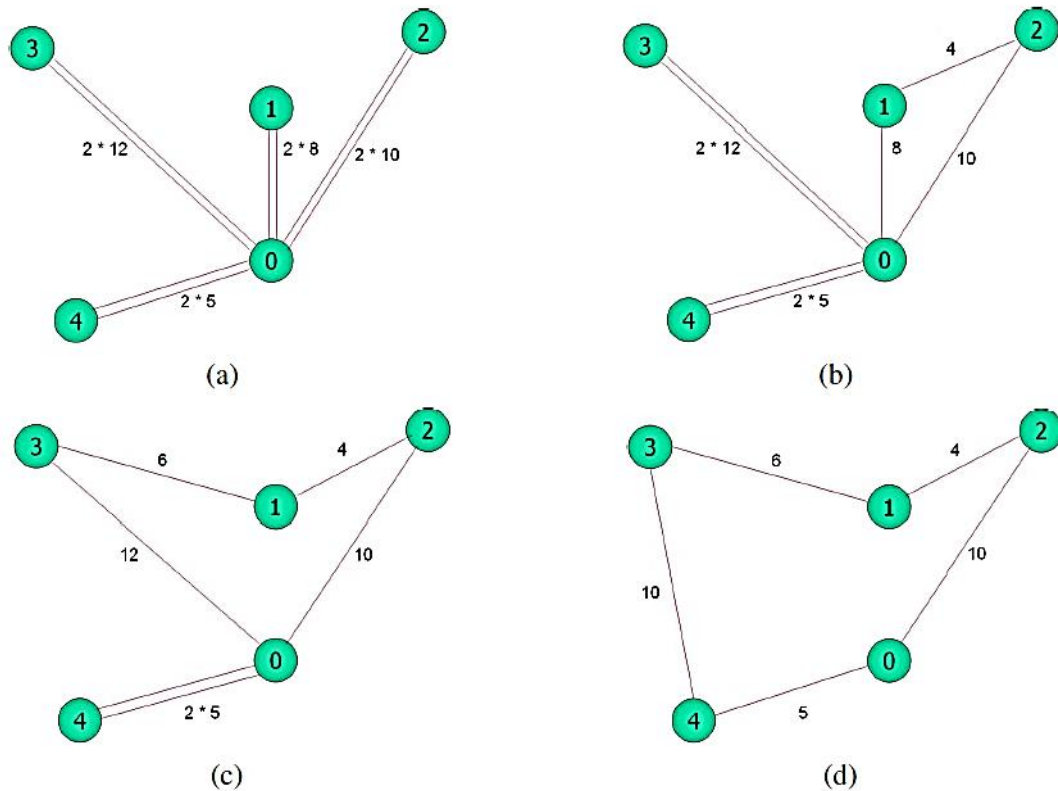


Figura n.º 19 – Exemplo de aplicação da heurística de CW

Fonte: Heinen (2005)

O tempo de execução do algoritmo é bastante curto (Cordeau et al., 2007), todavia, sendo um método heurístico, geralmente, não gera uma solução ótima (Lysgaard, 1997).

Existem duas versões do algoritmo, uma versão sequencial e uma versão paralela. Na versão sequencial apenas uma rota é construída de cada vez (com exceção de rotas com apenas um cliente), enquanto na versão paralela, pode ser construída mais de uma rota de cada vez (Lysgaard, 1997).¹⁸⁵

¹⁸⁴ Se um dos nós não estiver em lados extremos da sua rota, estas não podem ser unidas, e o processo continua para o próximo item, ficando os nós internos sejam excluídos do teste de economia. O mesmo aconteceria se a nova rota violasse alguma das restrições pré-estabelecidas (Heinen, 2005).

¹⁸⁵ O algoritmo é inerentemente paralelo, já que mais de uma rota é construída a qualquer momento. No entanto, pode ser facilmente implementado de uma forma sequencial (Cordeau et al., 2007).

H.3. OptiMap

O *OptiMap* é um recurso *on-line*, criado em 2007, por Geir Engdahl¹⁸⁶ (Engdahl, 2013) e, desde a sua primeira versão¹⁸⁷, fruto de desenvolvimentos constantes, foi-se tornando mais robusto (Engdahl, 2012b) para resolução de TSP. A última versão possui uma nova *interface* gráfica (Figura n.º 20) e uma nova rotina de resolução que foi melhorada desde a sua implementação, permitindo melhores soluções (6-7%) (Engdahl, 2012b). O código fonte¹⁸⁸ do “*solver*” está disponível sob a licença do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) (Engdahl, 2012a).

A operacionalização da ferramenta é bastante simples (Engdahl, 2012a):

- Para adicionar locais, basta clicar com o botão esquerdo do rato no mapa, inserir um endereço no campo de endereço único ou carregar vários endereços de destino;
- O primeiro local que se adiciona é considerado o ponto inicial da rota. Ao clicar em “*Calculate Fasttrip Roundtrip*”, esse ponto também será o ponto final da rota gerada. Ao clicar em “*Calculate Fastest AZ Trip*”, o último local adicionado (com o número mais alto) será o destino final. Para remover ou editar um local, é necessário apenas clicar no marcador;
- A ordenação dos pontos pode ser alterada depois da criação da rota, na opção “*Edit Route*”;
- Existem opções de viagem disponíveis (a pé, de bicicleta, restrição de autoestradas, entre outras);
- Permite a exportação da solução de e para várias formas, incluindo para GPS (ficheiro .gpx) e para visualização em *Google Maps*.

¹⁸⁶ De nacionalidade norueguesa e nascido em 1983, trabalhou na *Google*® como engenheiro de software durante três anos. Atualmente, com mestrado em matemática aplicada (cfr. http://gebweb.net/master_thesis/engdahl_master.pdf, disponível em 20 de março de 2017, às 19h e 45m), trabalha como desenvolvedor independente e treina a equipa norueguesa nas Olimpíadas Internacionais de Informática (Engdahl, 2013).

¹⁸⁷ Atualmente está consolidada a 4ª versão disponível em <http://www.optimap.net>.

¹⁸⁸ Cfr. <https://code.google.com/archive/p/google-maps-tsp-solver/>, disponível em 20 de março de 2017, às 21h e 29m.

OptiMap - Fastest Roundtrip Solver

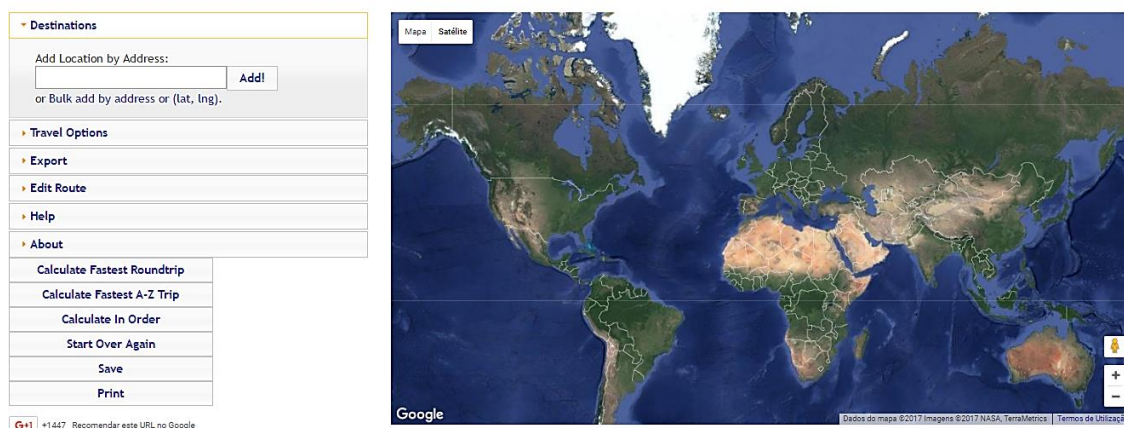


Figura n.º 20 – Interface do OptiMap

Fonte: Engdahl (2012b)

Uma das preocupações que o algoritmo usado tem em consideração é o facto de, ao retirar informação do *Google Maps*, considerar as vias de dois sentidos e de apenas um sentido. Outro fator tido em conta é a diferença do tempo gasto entre percorrer uma determinada rota entre pontos e percorrer essa mesma rota com restrição de vias de sentido único. Assim, o gráfico utilizado é direcionado (Engdahl, 2007).

O *OptiMap* consegue gerar rotas para mais de quinze pontos¹⁸⁹ com melhores resultados comparativamente com versões anteriores (Engdahl, 2012b). Contudo, ao adicionar quinze locais, não se garante a solução ideal, mas sim uma solução aproximada ao ótimo (Engdahl, 2012a). À semelhança do *OptiMap*, também o *Speedy Route*¹⁹⁰ constitui um recurso *on-line* de otimização de rotas.

H.4. LORE[©]

As tecnologias e aplicações desenvolvidas em torno dos sistemas de apoio à tomada de decisão (DSS) evoluíram muito desde o início dos anos 70 (Shim et al., 2002). Os progressos tecnológicos e organizacionais tiveram um grande impacto na evolução DSS e, no campo da otimização, o grande interesse estava em focar as pesquisas na busca

¹⁸⁹ São aceites até 100 locais (Engdahl, 2012a).

¹⁹⁰ Disponível em <https://www.speedyroute.com>.

de novos e melhores algoritmos, consubstanciando-se em ferramentas práticas e úteis aos utilizadores (Shim et al., 2002).¹⁹¹

A ferramenta de apoio à tomada de decisão (*decision-support tool* [DST]) *LORE*^{®192} visa permitir a exploração do processo de localização de soluções,¹⁹³ facilmente compreensível pelo utilizador, através do acesso dados geográficos (Lopes, 2011)¹⁹⁴. Os principais componentes da arquitetura¹⁹⁵ proposta são: a estrutura de dados, os modelos e a interface do utilizador (Lopes, Ferreira, & Santos, 2016).

H.4.1. Estrutura de dados e problemas suportados

O *LORE*[®] foi desenvolvido com uma arquitetura aberta e modular que permite a atualização ou integração de novas funcionalidades (Figura n.º 21) (R. B. Lopes, 2011).

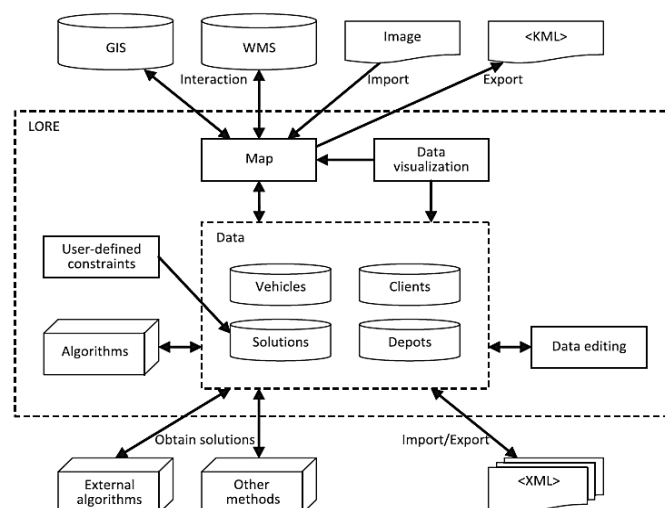


Figura n.º 21 – Arquitetura DST e principais componentes

Fonte: Lopes et al. (2016)

¹⁹¹ Desenvolveram-se modelos e novos sistemas, como por exemplo: *Mathematical Programming System* (MPS); *Algebraic modeling language processor systems* (AMLPS); *Optimization-based decision support models* (OBDC); entre outros.

¹⁹² A génese do *LORE*[®] surgiu como ferramenta para a resolução de *Capacitated Location Routing Problem* (CLRP) (Lopes, Barreto, Ferreira, & Santos, 2008).

¹⁹³ O *software* tem por objetivo a resolução de problemas de localização e/ou de rotas (*location-routing problems* [LRP]) (Lopes, 2011).

¹⁹⁴ Disponível em *Web Map Services* (WMS). Cfr. <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>, disponível em 04 de fevereiro de 2017, às 14h e 30m.

¹⁹⁵ O *LORE*[®] foi desenvolvido com uma arquitetura, que permite a integração de novas funcionalidades (Lopes, 2011).

Por força da complexidade de alguns dados que a ferramenta suporta, a estrutura de dados¹⁹⁶ criada baseia-se no formato de arquivo XML (*Extensible Markup Language*) (Lopes et al., 2016).

Apesar do *LORE*[®] ser projetado para apoiar diretamente as decisões dos LRP, é capaz de suportar problemas de localização de instalações (*Facility Location Problem* [FLP]) e VRP. O conjunto de problemas suportados pode, em alguns casos, ser facilmente adaptado a outros problemas conhecidos¹⁹⁷, devido à comunhão de elementos, nomeadamente, clientes, depósitos e veículos (Lopes, 2011).

H.4.2. Graphical User Interface

De um ponto de vista geral, uma aplicação deve ser intuitiva e prática, especialmente, quando os conhecimentos sobre a mesma são escassos. O *LORE*[®], quanto à parte gráfica, requer dos utilizadores apenas alguns conhecimentos de informática e de aplicações de mapas (*Web*). O principal foco no desenvolvimento dos perfis de utilizador foi facilitar o acesso às soluções¹⁹⁸. A ferramenta foi construída para plataformas *Windows*, usando uma metodologia baseada em programação extrema (*extreme programming* [XP]) (Lopes, 2011) e implementada em *extensible application markup language* (XAML), com C# como *code-behind* (Lopes et al., 2016). Para permitir a obtenção, edição e visualização dos dados, resolver instâncias dos problemas e observar os resultados, o *software* contempla as seguintes funcionalidades: inserção (ou edição) de dados novos (ou existentes); interação com WMS, para obter e visualizar dados geográficos; obtenção de soluções através de representação numérica ou gráfica; comparação de diferentes soluções; entrada do utilizador no processo de obtenção da solução; e, exportação de dados para arquivos inteligíveis (XML) (Lopes et al., 2016).

A GUI apresenta uma janela principal, com todas as funcionalidades acessíveis através da barra de ferramentas, e o menu (Figura n.º 22) (Lopes, 2011).

¹⁹⁶ Deve ser: flexível, para suportar evoluções futuras no formato de linhas, mantendo a compatibilidade; hierarquicamente capaz de estruturar dados necessários, facilitando a interpretação e manutenção; e refletir a sua estrutura diretamente nos arquivos gerados, facilitando a integração com novos algoritmos e aplicações (Lopes et al., 2016).

¹⁹⁷ Por exemplo, se o CLRP tiver apenas um local de depósito possível, este tornar-se-á num CVRP ou o VRP de vários depósitos quando houver vários locais de depósito possíveis sem custos de instalação de depósito; Assim como, se o CLRP considerar apenas ligações diretas entre depósitos e clientes, em vez de rotas, é equivalente ao problema discreto de localização-atribuição (Lopes, 2011).

¹⁹⁸ Tendo como critérios de utilidade, a consistência, a compatibilidade, familiaridade, *feedback*, robustez, entre outros.

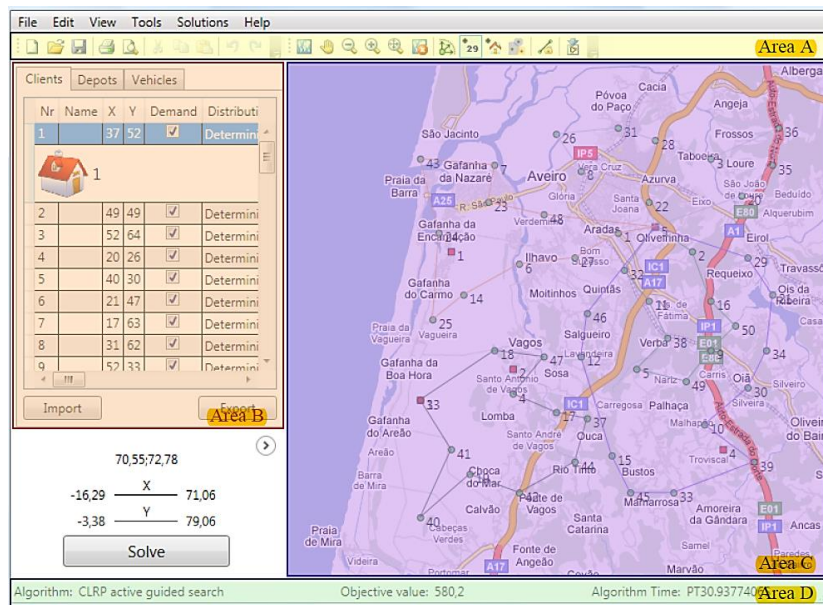


Figura n.º 22 – Aspeto geral da GUI com as quatro diferentes áreas¹⁹⁹

Fonte: Lopes (2011)

Para definir o problema em questão são necessários dados de entrada. O *software* suporta as seguintes informações: dados referentes aos clientes (coordenadas, procura e/ou oferta); dados dos depósitos (CA) (coordenadas, capacidade e custos), já instalados ou a determinar; veículos disponíveis (capacidade, custo e onde operam); e, matriz de distância entre clientes e depósitos (Lopes et al., 2016) (por padrão, são assumidas as distâncias euclidianas) (Lopes, 2011).

Para além do exposto acima, importa referir que o *LORE*® permite o acesso a dados geográficos recorrendo a informação *on-line*, com imagens georreferenciadas para dar suporte à representação gráfica das soluções encontradas (Lopes, 2011). Estas podem ser obtidas pela importação da própria solução ou pela execução dos algoritmos e, como forma de extrair essa informação, é permitida a impressão da área de visualização, a

¹⁹⁹ O modelo permite um acesso fácil e eficiente a soluções que compreende quatro partes:

- Uma Barra de ferramentas com botões, permitindo um rápido acesso às principais funcionalidades (Área A);
- Uma Painele extensível que permite editar/exibir dados sobre os problemas (Área B);
- Uma área de visualização com informação acerca dos mapas (Área C);
- Uma *status bar*, contendo dados sobre o algoritmo utilizado e valor(es) da(s) função(ões) objetivos a partir da(s) solução(ões) encontrada(s) (Área D).

exportação dos dados e guardar os mesmos em ficheiro XML (Figura n.º 23) (Lopes, 2011)²⁰⁰.

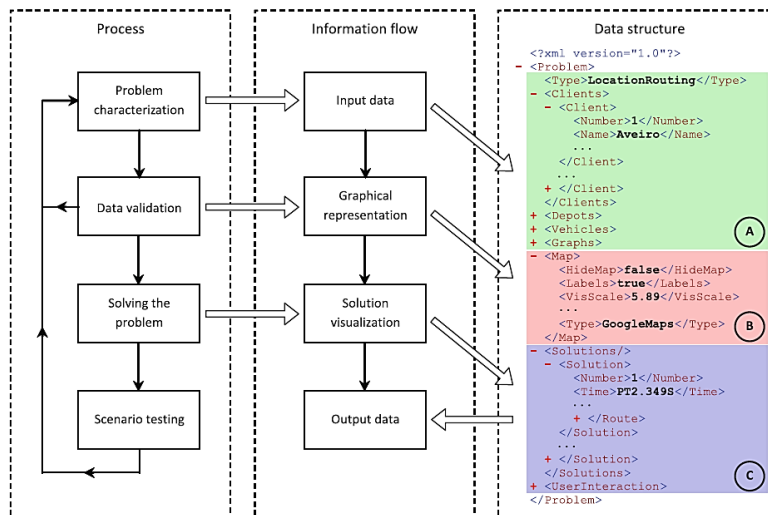


Figura n.º 23 – Processo de localização de soluções, fluxo de informações e estrutura de dados correspondentes

Fonte: Lopes et al. (2016)

H.5. ArcMap®: extensão *Network Analyst*

O ArcMap[®]²⁰¹ é uma das duas principais aplicações do ArcGIS²⁰² para execução de uma ampla gama de tarefas SIG, entre as quais se destaca: a introdução, navegação e consulta de vários formatos de mapas; mapeamento, edição, análise e gestão de dados; elaboração de modelos de geoprocessamento de imagens; representação de informações geográficas, agregando os vários elementos em camadas; e, o acesso a diversas extensões, nomeadamente o *Network Analyst* (ESRI, 2016b).²⁰³

²⁰⁰ Todas as informações exibidas na área de visualização, ou seja, elementos gráficos, mapa e solução, podem ser impressos e os dados relativos a clientes, depósitos e veículos podem ser exportados (Lopes, 2011). O LORE[®] é um software que permite constantes avanços e melhorias na introdução de novas ferramentas (georreferenciação, interligação com várias camadas de mapas e com sensores *Radio-Frequency IDentification* (RFID) com distâncias reais, e novos algoritmos), tornando-o mais robusto.

²⁰¹ Versão atual: 10.5 (ESRI, 2016b).

²⁰² O ArcGIS Desktop inclui dois aplicativos principais que são usados para mapeamento e visualização: ArcMap[®] e ArcGIS Pro. Este último, é o indicado para criar e trabalhar com dados espaciais, pois fornece ferramentas para visualizar, analisar, compilar e compartilhar dados em ambientes 2D e 3D (ESRI, 2016b). Como descrito acima, o ArcGIS é a aplicação utilizada nos estudos de Li et al. (2011) e Kuo et al. (2012).

²⁰³ O ArcMap[®] também permite a ligação a sistema GPS. Cfr. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/display-gps-data/getting-started-with-arcmap-gps->

Relativamente à exibição gráfica apresentada, o *ArcMap*[®] comporta uma série de dados agrupado em quadros, nos quais estão incluídas as camadas de mapas²⁰⁴ exibidas, as ferramentas disponíveis e todas as informações dos elementos constituintes do *layout* (Figura n.º 24) (ESRI, 2016b).

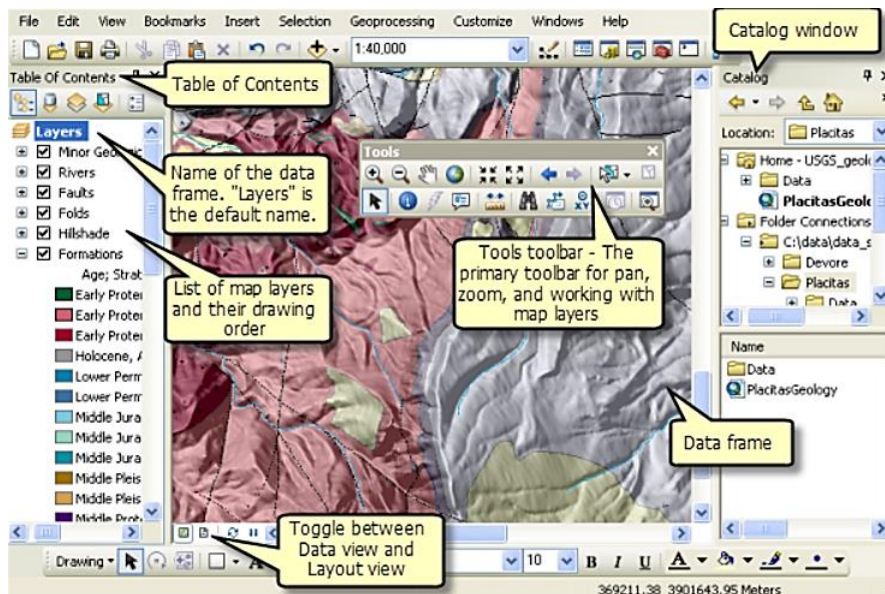


Figura n.º 24 – *Layout* em ambiente *ArcMap*[®]

Fonte: ESRI (2016b)

O *ArcCatalog*²⁰⁵ e o *ArcToolbox*²⁰⁶ são duas das ferramentas disponíveis internamente no *ArcMap*[®], o que complementa as diversas capacidades na realização de trabalhos em ambiente geográfico (ESRI, 2016b).

support.htm, disponível em 18 de março de 2017, às 18h e 45m. Os documentos *ArcMap*[®] são gerados segundo a extensão (.xmd) e anexada automaticamente ao nome do ficheiro criado (ESRI, 2016b).

²⁰⁴ Conjunto de dados SIG específicos, simbolizados e sobrepostos no mapa que incluem pontos, linhas e polígonos, fotografias ou imagens de satélite ou inda superfícies contínuas de elevação (ESRI, 2016b).

²⁰⁵ Fornece uma janela de catálogo em árvore que é utilizada para organizar vários tipos de informações geográficas acessíveis no ArcGIS Desktop (ESRI, 2016b).

²⁰⁶ Comtempla uma série de ferramentas de análise, conversão, edição, estatística, cartografia, georreferenciação, entre outras (ESRI, 2016b).

O *Network Analyst* é uma das extensões do ArcGIS, disponível no *ArcMap*[®], que contém ferramentas de análise espacial e manutenção de um conjunto de dados de rede, permitindo resolver problemas complexos de roteamento²⁰⁷ (ESRI, 2016a).

A extensão contempla uma série de capacidades avançadas (organizadas em camadas de análise de rede), nomeadamente, roteamento ponto-a-ponto ou conjunto de pontos (*Route*) e de frota (VRP), definição de áreas de serviço (*Service Area*), análises de instalações mais próximas (*Closest Facility*), de origem-destino (*OD Cost Matrix*) e de localização-afetação (*Location-allocation*) (ESRI, 2016b).

Os métodos de cálculo variam consoante a camada de análise de rede escolhida. As camadas *Service Area*, *Closest Facility* e *OD Cost Matrix* utilizam o algoritmo de Dijkstra²⁰⁸. No caso da *Route*, utiliza o algoritmo de Dijkstra e a Pesquisa Tabu (meta heurística). O primeiro é utilizado para encontrar o melhor caminho com sequência de pontos pré-estabelecida e a meta heurística permite reordenar os pontos, gerando a melhor sequência²⁰⁹. Quanto ao VRP, é utilizada uma Matriz de Custo OD²¹⁰, a qual gera uma solução inicial. Posteriormente, esta é melhorada pela pesquisa tabu e com a alteração dos pontos de visita. Por ultimo, na camada *Location-allocation*, é gerada uma matriz OD²¹¹, sendo obtido um conjunto de soluções melhoradas, posteriormente, com a meta heurística (ESRI, 2016b).²¹²

Desta forma, a extensão permite responder a um conjunto de questões, tais como (ESRI, 2016b):

- Qual é a forma mais rápida de chegar do ponto A ao ponto B?
- Que casas estão a cinco minutos de um quartel de bombeiros?
- Quais as áreas de mercado cobertas por uma empresa?
- Que ambulâncias ou carros de patrulha podem responder mais rapidamente a uma ocorrência?

²⁰⁷ “A democratização do acesso à plataforma SIG permite fazer mais com menos: menos burocracia, menos duplicações na inserção dados, menos tempo de condução, menos gasto de combustível, menos confusão, menos contradição, e por assim em diante.” (ESRI, 2016a).

²⁰⁸ O algoritmo clássico de Dijkstra resolve um problema de caminho mais curto em grafos não-direcionados e não-negativo (ESRI, 2016b). Para ser utilizado no contexto real, este algoritmo é modificado para respeitar restrições unidirecionais, de viragem, barreiras e restrições de lado da rua, minimizando os custos dos atributos escolhidos (ESRI, 2016b).

²⁰⁹ Com base numa matriz de custo entre os pontos, correspondendo ao TSP (ESRI, 2016b).

²¹⁰ Baseada no algoritmo de Dijkstra (ESRI, 2016b).

²¹¹ Através da edição de Hillsman (Hillsman, 1984).

²¹² Após a criação da matriz, é aplicada uma heurística de substituição de vértices (Teitz & Bart, 1968) para refinar as soluções encontradas antes da aplicação da meta heurística (ESRI, 2016b).

- De que forma a frota de veículos de entrega ou de serviço pode melhorar o atendimento ao cliente e minimizar os custos de transporte?
- Em que local deve uma empresa abrir uma loja para maximizar a sua participação no mercado?
- Se uma empresa tem de reduzir o tamanho, que lojas deve fechar para manter a maior oferta global?
- Quais são as condições de tráfego em tempo real ou histórico e de que forma afetam os resultados da minha análise de rede?

Com a resposta às questões supra indicadas torna-se possível encontrar as rotas mais rápidas ou mais curtas, dependendo das restrições impostas e cenários conferidos, reduzir o número de quilómetros percorridos, o tempo de viagem, o desgaste das viaturas e, ainda, encontrar as melhores localizações, reduzindo custos e aumentando a acessibilidade (ESRI, 2016a).²¹³

²¹³ Para mais informação acerca de vocabulário específico da ferramenta, cfr. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/essential-arcmap-vocabulary.htm>, disponível em 18 de março de 2017, às 19h e 24m.

APÊNDICE I – TESTE AO MODELO: PROCEDIMENTOS EXECUTADOS

I.1. Teste preliminar

Xij	x01	x02	x03	x04	x05	x12	x13	x14	x15	x23	x24	x25	x34	x35	x45			
Cij	1526	4271	1698	5374	6857	5398	3202	5993	6162	2693	4290	8539	3801	8050	4441			
Xij ∈ {0,1,2}	2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	23031	Função Objetivo	

Restrições	1					1	1	1	1							2	=	2
		1				1				1	1	1				2	=	2
			1				1			1			1	1		2	=	2
				1				1			1		1		1	2	=	2
	1	1	1	1	1							1		1	1	4	=	4
	1															2	<=	2
		1														0	<=	2
			1													1	<=	2
				1												0	<=	2
					1											1	<=	2
						1										0	<=	2
							1									0	<=	2
								1								0	<=	2
									1							0	<=	2
										1						1	<=	2
											1					1	<=	2
												1				0	<=	2
													1			0	<=	2
														1		0	<=	2
															1	1	<=	2
															1	1	<=	1

Figura n.º 25 – Teste preliminar em Suplemento Solver (5 pontos)

Fonte: Elaboração Própria

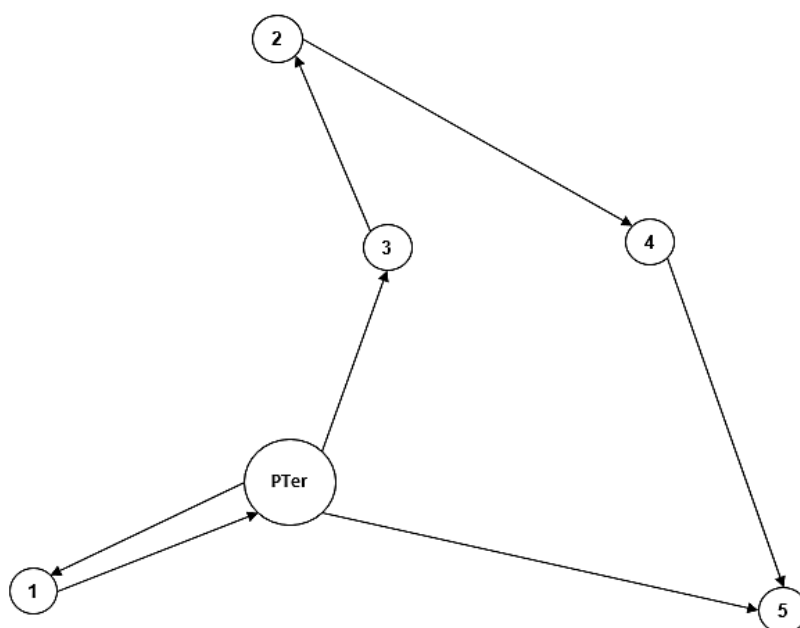


Figura n.º 26 – Solução gerada em Solver (5 pontos)

Fonte: Elaboração Própria

I.2. Heurística de Clarke e Wright

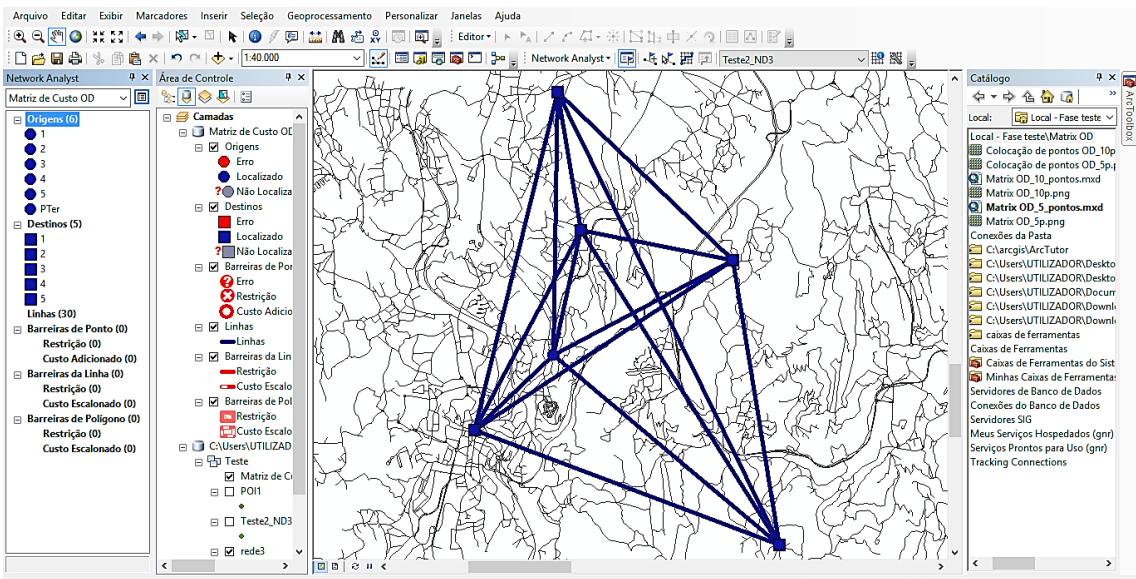


Figura n.º 27 – União de pontos gerada com a camada Matriz de Custo OD (5 pontos)

Fonte: ArcMap®

Tabela

Linhas

	ObjectID	Shape	Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total Comprimento
	61	Polilinha	1 - 1	1	1	1	0
	62	Polilinha	1 - 3	1	3	2	3202,402336
	63	Polilinha	1 - 2	1	2	3	5397,624082
	64	Polilinha	1 - 4	1	4	4	5993,425433
	65	Polilinha	1 - 5	1	5	5	6162,308585
	66	Polilinha	2 - 2	2	2	1	0
	67	Polilinha	2 - 3	2	3	2	2692,759217
	68	Polilinha	2 - 4	2	4	3	4290,048886
	69	Polilinha	2 - 1	2	1	4	5397,624082
	70	Polilinha	2 - 5	2	5	5	8538,717986
	71	Polilinha	3 - 3	3	3	1	0
	72	Polilinha	3 - 2	3	2	2	2692,759217
	73	Polilinha	3 - 1	3	1	3	3202,402336
	74	Polilinha	3 - 4	3	4	4	3800,965338
	75	Polilinha	3 - 5	3	5	5	8049,634438
	76	Polilinha	4 - 4	4	4	1	0
	77	Polilinha	4 - 3	4	3	2	3800,965338
	78	Polilinha	4 - 2	4	2	3	4290,048886
	79	Polilinha	4 - 5	4	5	4	4441,200266
	80	Polilinha	4 - 1	4	1	5	5993,425433
	81	Polilinha	5 - 5	5	5	1	0
	82	Polilinha	5 - 4	5	4	2	4441,200266
	83	Polilinha	5 - 1	5	1	3	6162,308585
	84	Polilinha	5 - 3	5	3	4	8049,634438
	85	Polilinha	5 - 2	5	2	5	8538,717986
	86	Polilinha	PTer - 1	7	1	1	1526,310517
	87	Polilinha	PTer - 3	7	3	2	1697,783792
	88	Polilinha	PTer - 2	7	2	3	4270,648887
	89	Polilinha	PTer - 4	7	4	4	5374,011749
	90	Polilinha	PTer - 5	7	5	5	6586,877108

Figura n.º 28 – Matriz de Custo OD (5 pontos)

Fonte: *ArcMap*®

Tabela n.º 11 – Distâncias entre pontos e PTer (5 pontos)
(metros)

Pontos	Pontos					PTer	
	1	2	3	4	5		
	1	0	5398	3202	5993	6162	1526
	2		0	2693	4290	8539	4271
	3			0	3801	8050	1698
	4				0	4441	5374
5					0	6857	

(matriz simétrica)

Fonte: Elaboração Própria

Tabela n.º 12 – Cálculo de Savings e respetiva rota gerada (5 pontos)

Ligação		Custos (Distância)			Saving	Rota (acumulada)	Distância da rota (metros)
<i>i</i>	<i>j</i>	C_{i0}	C_{0j}	C_{ij}	S_{ij}		
4	5	5374	6587	4441	7520	4-5	4441
2	4	4271	5374	4290	5355	2-4-5	4290
2	3	4271	1698	2693	3276	3-2-4-5	2693
3	4	4698	5374	3801	3271	-	-
2	5	4271	6587	8539	2319	-	-
1	5	1526	6587	6162	1951	3-2-4-5-1	6162
1	4	1526	5374	5993	907	-	-
1	2	1526	4271	5398	399	-	-
3	5	1698	6587	8050	235	-	-
1	3	1526	1698	3202	22	-	-
Segmento inicial da rota						PTer-3	1698
Segmento final da rota						1-PTer	1526
Total						PTer-3-2-4-5-1-PTer	20810

Fonte: Elaboração Própria

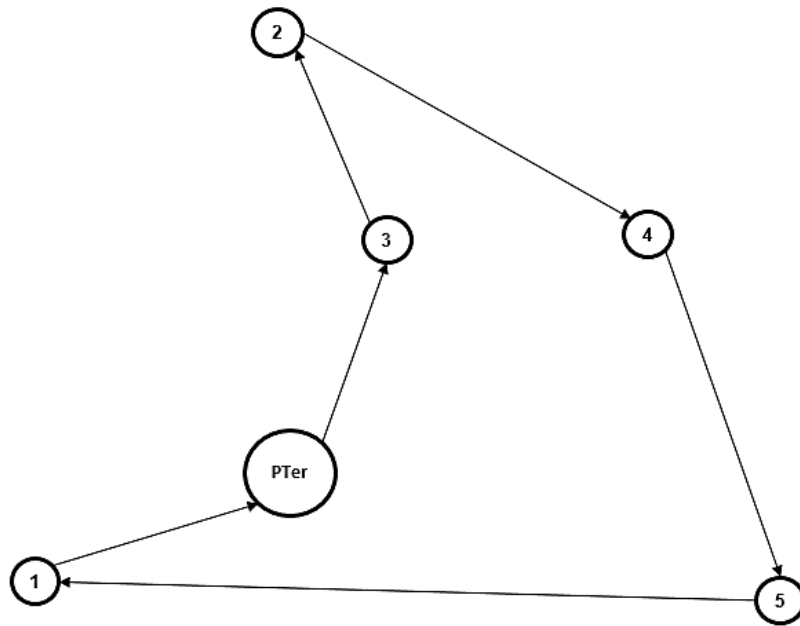


Figura n.º 29 – Solução gerada em Microsoft Office Excel (5 pontos)

Fonte: Elaboração Própria

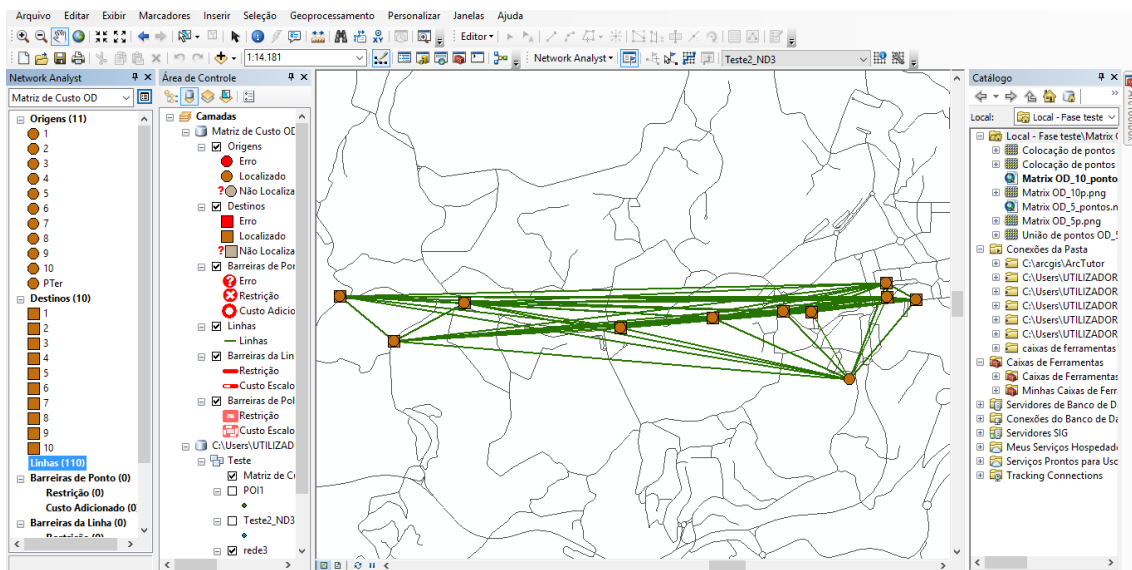


Figura n.º 30 – União de pontos gerada com a camada Matriz de Custo OD (10 pontos)

Fonte: ArcMap®

Tabela							
<div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> </div>							
Linhas							
	ObjectID	Shape	Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total Comprimento
	1	Polilinha	1 - 1	1	1	1	0
	2	Polilinha	1 - 3	1	3	2	602,323277
	3	Polilinha	1 - 2	1	2	3	740,599041
	4	Polilinha	1 - 4	1	4	4	1316,01423
	5	Polilinha	1 - 5	1	5	5	1745,60906
	6	Polilinha	1 - 6	1	6	6	2067,987064
	7	Polilinha	1 - 7	1	7	7	2193,625494
	8	Polilinha	1 - 8	1	8	8	2570,031041
	9	Polilinha	1 - 9	1	9	9	2638,895338
	10	Polilinha	1 - 10	1	10	10	2681,977625
	11	Polilinha	2 - 2	2	2	1	0
	12	Polilinha	2 - 3	2	3	2	430,749569
	13	Polilinha	2 - 1	2	1	3	740,599041
	14	Polilinha	2 - 4	2	4	4	1144,440522
	15	Polilinha	2 - 5	2	5	5	1574,035352
	16	Polilinha	2 - 6	2	6	6	1896,413356
	17	Polilinha	2 - 7	2	7	7	2022,051786
	18	Polilinha	2 - 8	2	8	8	2398,457334
	19	Polilinha	2 - 9	2	9	9	2467,32163
	20	Polilinha	2 - 10	2	10	10	2510,403918
	21	Polilinha	3 - 3	3	3	1	0
	22	Polilinha	3 - 2	3	2	2	430,749569
	23	Polilinha	3 - 1	3	1	3	602,323277
	24	Polilinha	3 - 4	3	4	4	732,024875
	25	Polilinha	3 - 5	3	5	5	1161,619705
	26	Polilinha	3 - 6	3	6	6	1483,997708
	27	Polilinha	3 - 7	3	7	7	1609,636139
	28	Polilinha	3 - 8	3	8	8	1986,041686
	29	Polilinha	3 - 9	3	9	9	2054,905983
	30	Polilinha	3 - 10	3	10	10	2097,98827
	31	Polilinha	4 - 4	4	4	1	0
	32	Polilinha	4 - 5	4	5	2	429,59483
	33	Polilinha	4 - 3	4	3	3	732,024875
	34	Polilinha	4 - 6	4	6	4	751,972834
	35	Polilinha	4 - 7	4	7	5	877,611264
	36	Polilinha	4 - 2	4	2	6	1144,440522
	37	Polilinha	4 - 8	4	8	7	1254,016811
	38	Polilinha	4 - 1	4	1	8	1316,01423
	39	Polilinha	4 - 9	4	9	9	1322,881108
	40	Polilinha	4 - 10	4	10	10	1365,963395
	41	Polilinha	5 - 5	5	5	1	0
	42	Polilinha	5 - 6	5	6	2	322,378004
	43	Polilinha	5 - 4	5	4	3	429,59483
	44	Polilinha	5 - 7	5	7	4	448,016434
	45	Polilinha	5 - 8	5	8	5	824,421981

Figura n.º 31 – Matriz de Custo OD (10 pontos)

Fonte: ArcMap®

Tabela n.º 13 – Distâncias entre pontos e PTer (10 pontos)
(metros)

		Pontos										PTer
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pontos	1	0	741	602	1316	1746	2068	2194	2570	2639	2682	2675
	2		0	431	1144	1574	1896	2022	2398	2467	2510	2503
	3			0	732	1162	1484	1610	1986	2055	2098	2091
	4				0	430	752	878	1254	1323	1366	1359
	5					0	322	448	824	893	936	929
	6						0	140	517	585	628	622
	7							0	376	445	488	674
	8								0	69	450	482
	9									0	220	551
	10										0	582

(matriz simétrica)

Fonte: Elaboração Própria

Tabela n.º 14 – Cálculo de *Savings* e respetiva rota gerada (10 pontos)

Ligação		Custos (Distância)			<i>Saving</i>	Rota (acumulada)	Distância da rota (metros)
<i>i</i>	<i>j</i>	C_{i0}	C_{0j}	C_{ij}	S_{ij}		
1	2	2675	2503	741	4438	1-2	741
2	3	2503	2091	431	4164	1-2-3	431
1	3	2675	2091	602	4164	-	-
2	4	2503	1359	1144	2718	-	-
1	4	2675	1359	1316	2718	4-1-2-3	1316
3	4	2091	1359	732	2718	-	-
2	5	2503	929	1574	1859	-	-
1	5	2675	929	1746	1859	-	-
4	5	1359	929	430	1859	5-4-1-2-3	430
3	5	2091	929	1162	1859	-	-
5	6	929	622	322	1229	6-5-4-1-2-3	322
4	6	1359	622	752	1229	-	-
2	6	2503	622	1896	1229	-	-
1	6	2675	622	2068	1229	-	-
3	6	2091	622	1484	1229	-	-
6	7	622	674	140	1155	7-6-5-4-1-2-3	140
2	7	2503	674	2022	1155	-	-
1	7	2675	674	2194	1155	-	-
5	7	929	674	448	1155	-	-
4	7	1359	674	878	1155	-	-
3	7	2091	674	1610	1155	-	-
8	9	482	551	69	964	-	-
9	10	551	582	220	913	-	-
7	8	674	482	376	779	8-7-6-5-4-1-2-3	376
7	9	674	551	445	779	-	-
7	10	674	582	488	768	-	-
8	10	482	582	450	614	10-8-7-6-5-4-1-2-3	450
6	8	622	482	517	587	-	-
5	8	929	482	824	587	-	-
4	8	1359	482	1254	587	-	-
1	8	2675	482	2570	587	-	-
6	9	622	551	585	587	-	-
5	9	929	551	893	587	-	-
4	9	1359	551	1323	587	-	-
3	8	2091	482	1986	587	-	-
2	8	2503	482	2398	587	-	-
2	9	2503	551	2467	587	-	-
1	9	2675	551	2639	587	-	-
3	9	2091	551	2055	587	10-8-7-6-5-4-1-2-3-9	2055
1	10	2675	582	2682	575	-	-
6	10	622	582	628	575	-	-
5	10	929	582	936	575	-	-
4	10	1359	582	1366	575	-	-
3	10	2091	582	2098	575	-	-
2	10	2503	582	2510	575	-	-
Segmento inicial da rota					PTer-10		582
Segmento final da rota					9-PTer		551
Total					PTer-10-8-7-6-5-4-1-2-3-9-PTer		7394

Fonte: Elaboração Própria

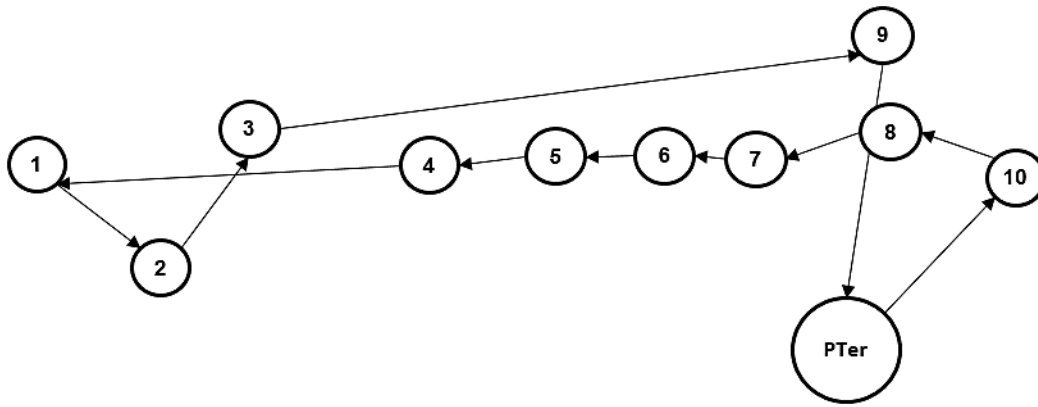


Figura n.º 32 – Solução gerada em *Microsoft Office Excel* (10 pontos)

Fonte: Elaboração Própria

I.3. OptiMap

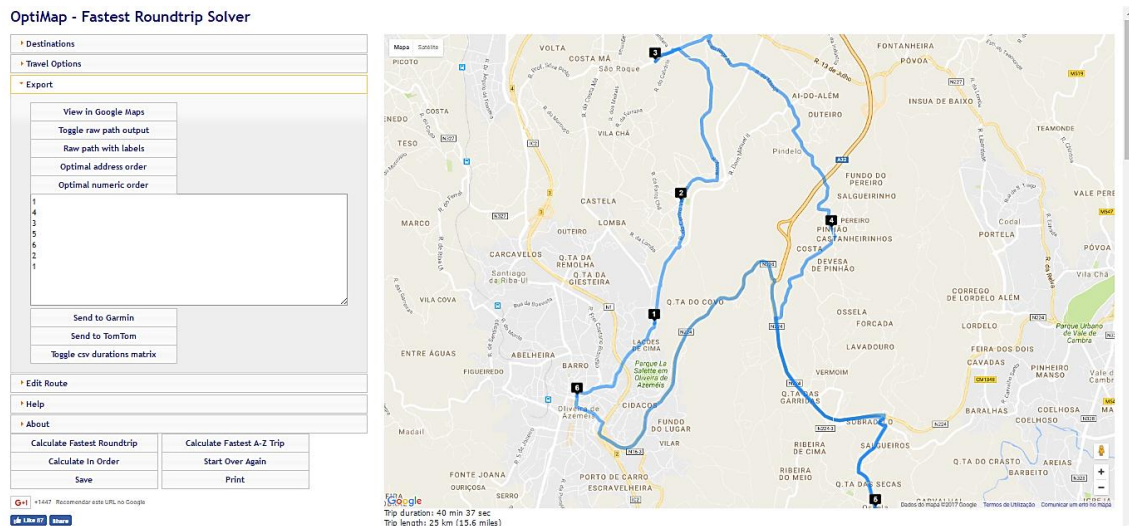


Figura n.º 33 – Solução gerada em *OptiMap* (5 pontos)

Fonte: *OptiMap*

OptiMap - Fastest Roundtrip Solver

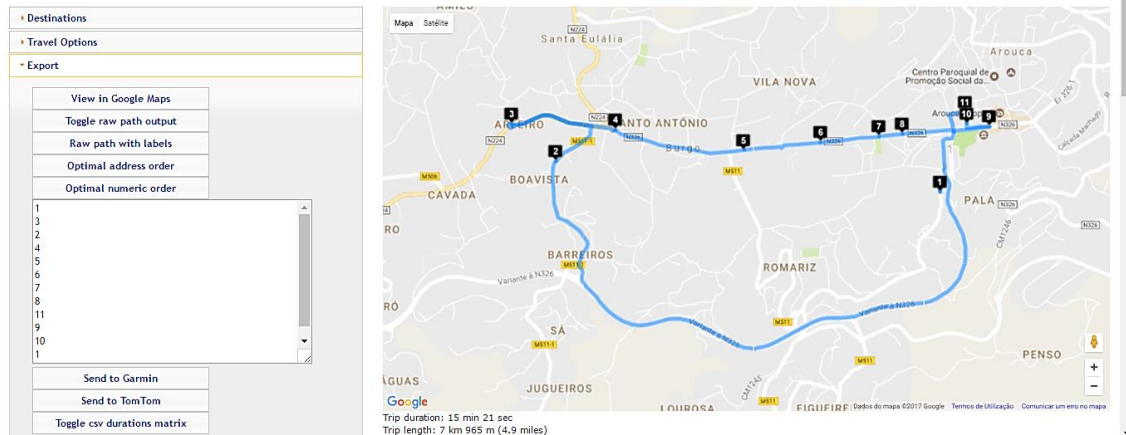


Figura n.º 34 – Solução gerada em *OptiMap* (10 pontos)

Fonte: *OptiMap*

1.4. LORE[®]

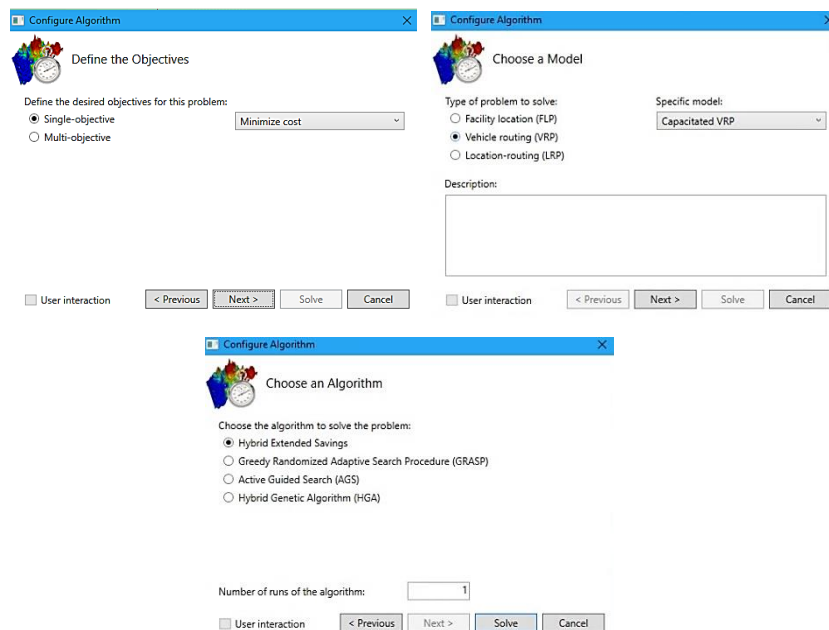


Figura n.º 35 – Escolha do objetivo, modelo e algoritmo

Fonte: *LORE[®]*

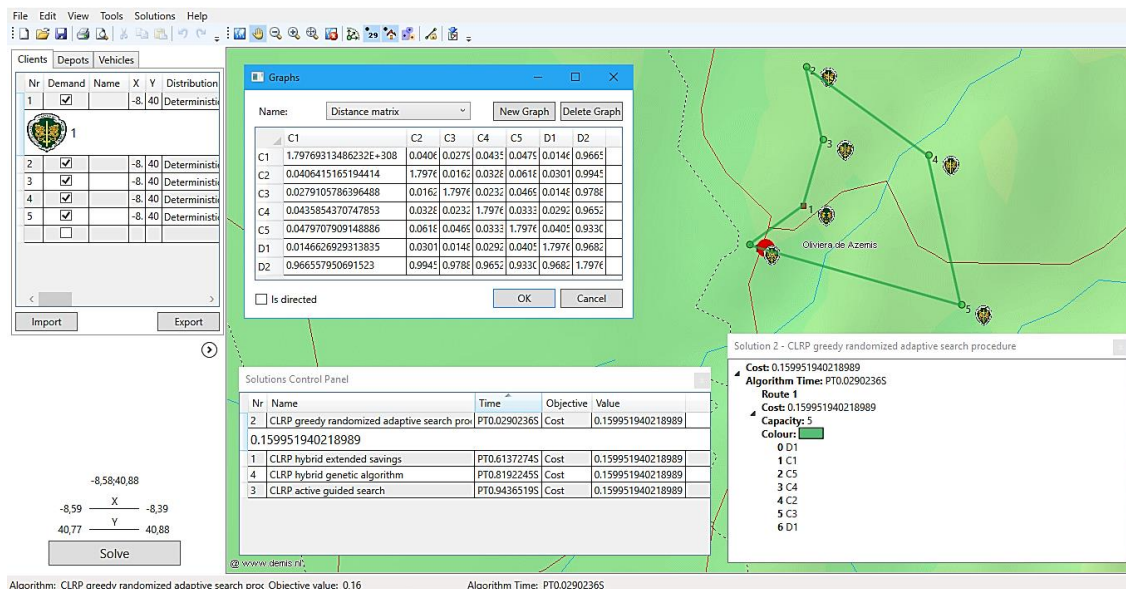


Figura n.º 36 – Solução gerada em LORE® (5 pontos)

Fonte: LORE®

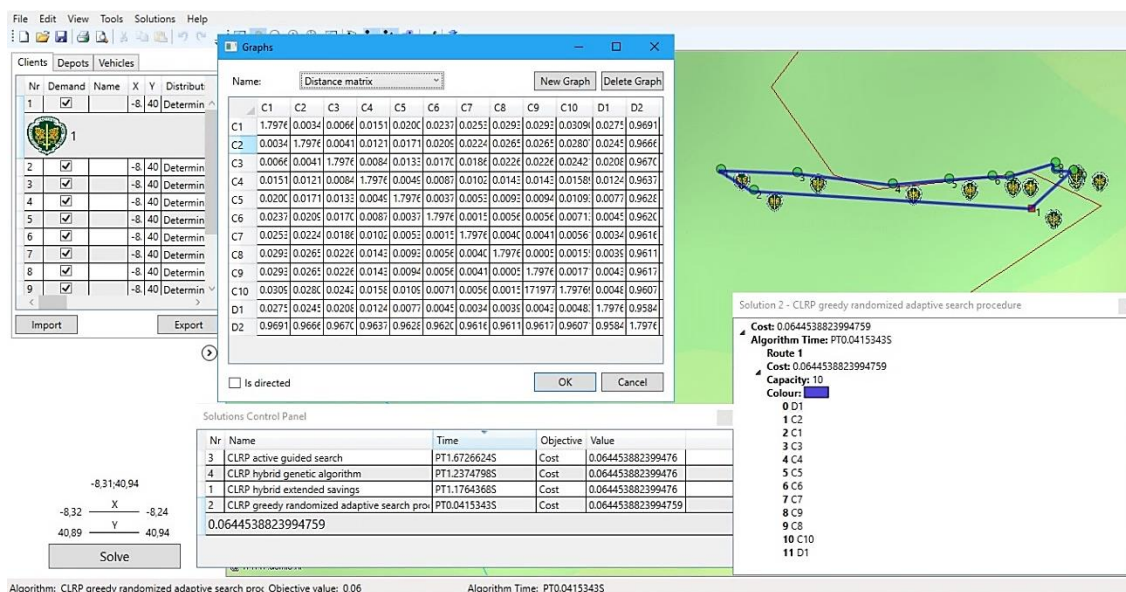


Figura n.º 37 – Solução gerada em LORE® (10 pontos)

Fonte: LORE®

1.5. ArcMap®

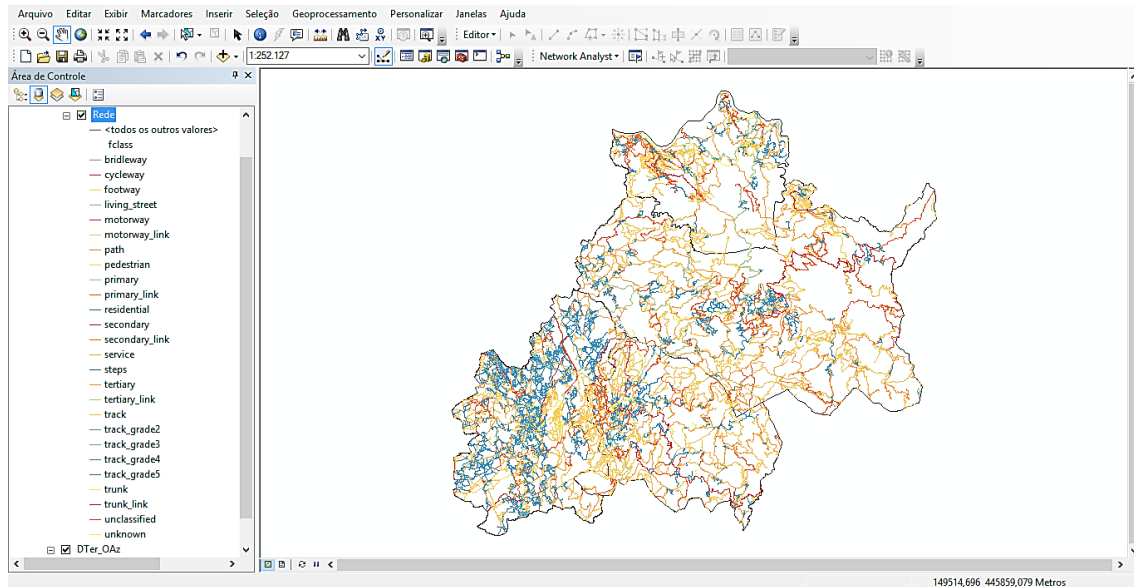


Figura n.º 38 – Rede viária da área de responsabilidade do DTer de OAz

Fonte: ArcMap®

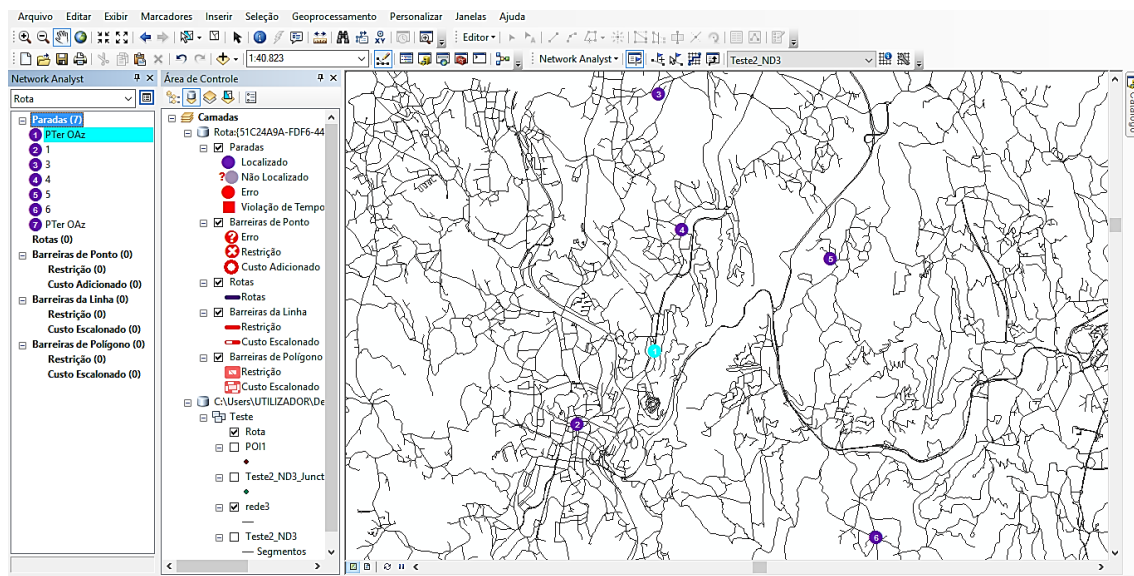


Figura n.º 39 – Introdução e colocação de dados na camada Route (5 pontos)

Fonte: ArcMap®

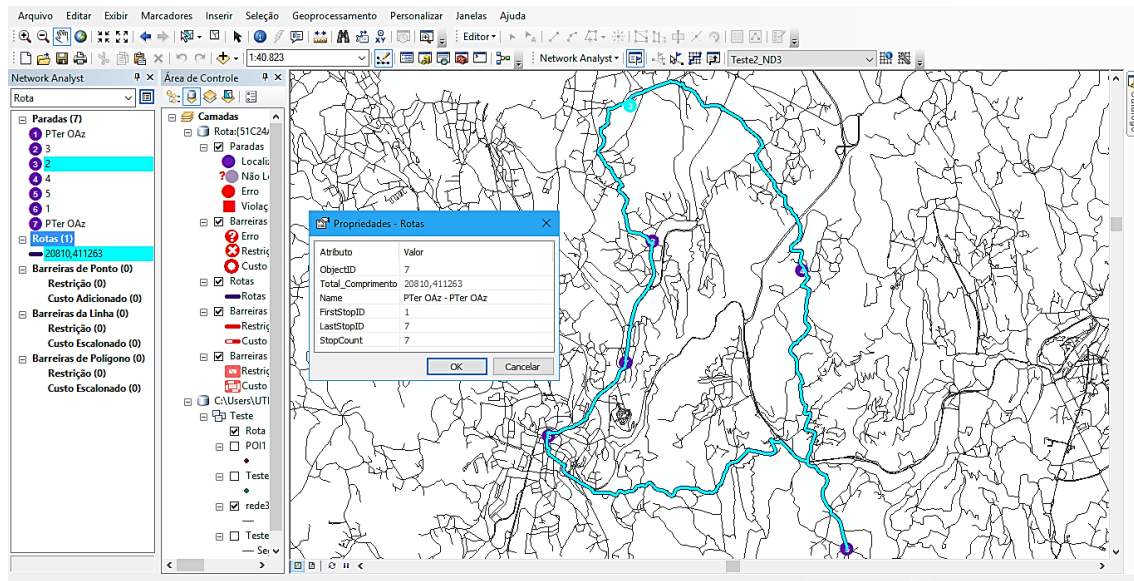


Figura n.º 40 – Solução gerada na camada *Route* (5 pontos)

Fonte: ArcMap®

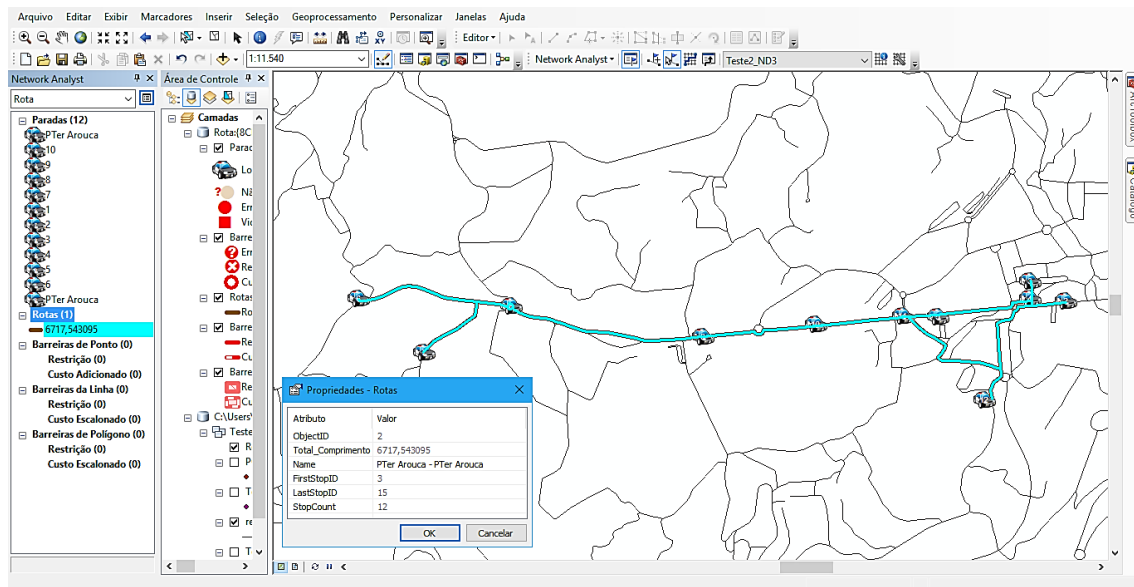


Figura n.º 41 – Solução gerada na camada *Route* (10 pontos)

Fonte: ArcMap®

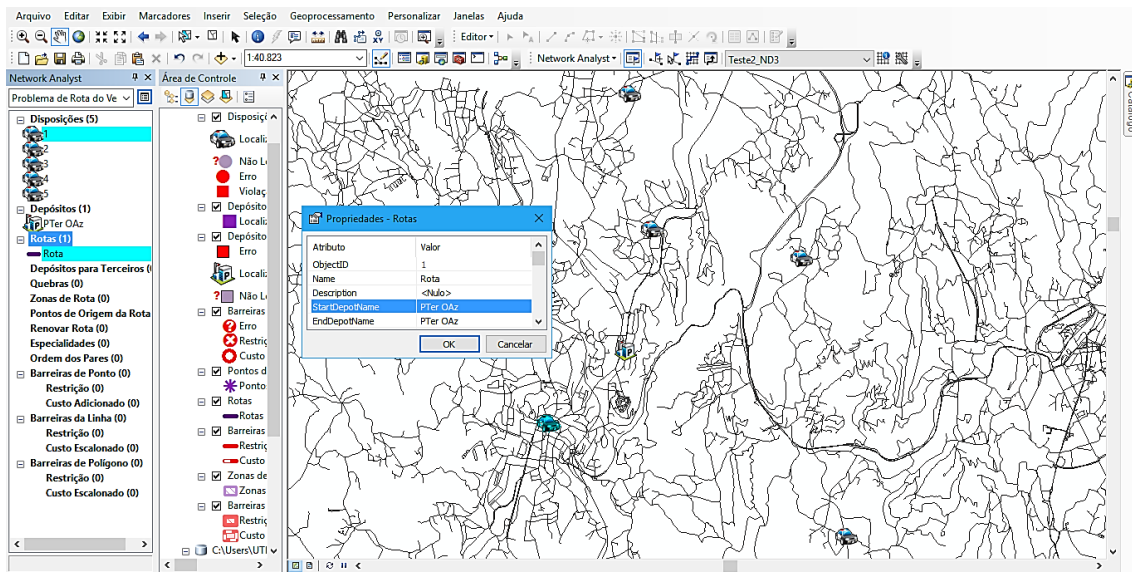


Figura n.º 42 – Introdução e colocação de dados na camada VRP (5 pontos)

Fonte: ArcMap®

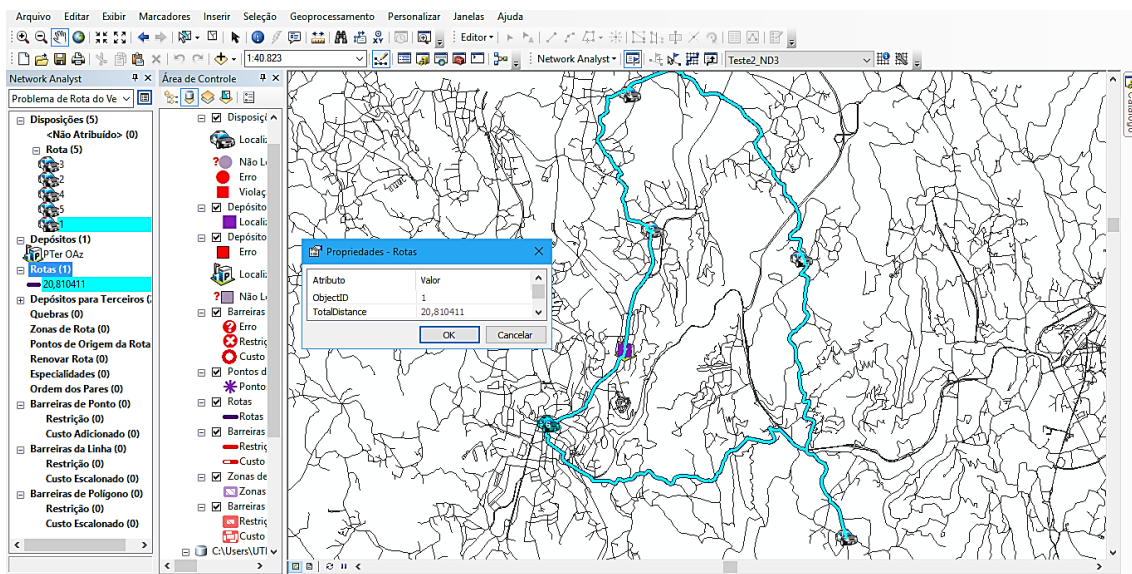


Figura n.º 43 – Solução gerada na camada VRP (5 pontos)

Fonte: ArcMap®

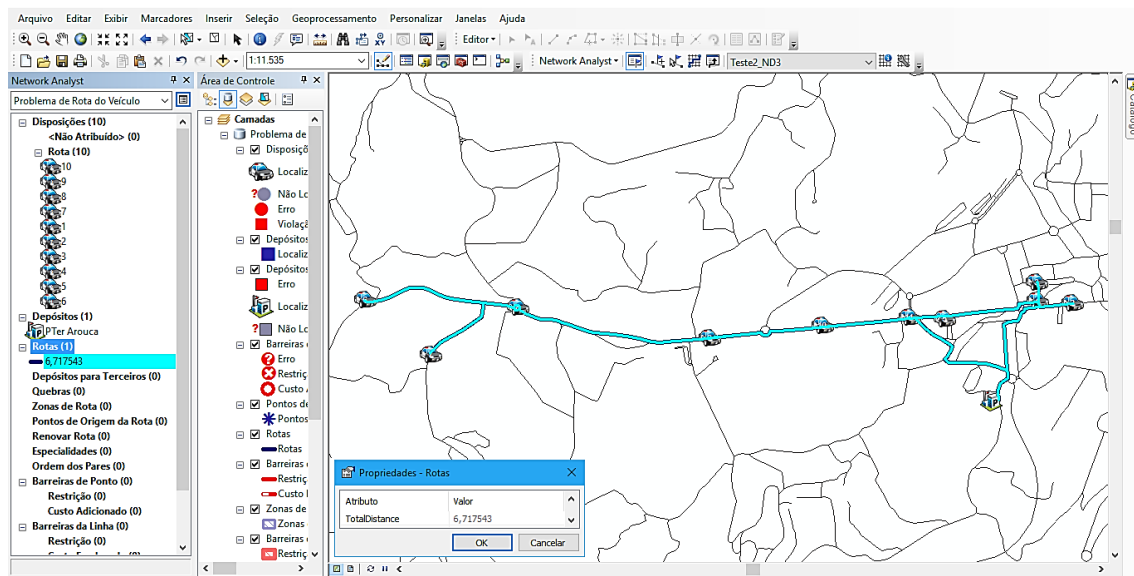


Figura n.º 44 – Solução gerada na camada VRP (10 pontos)

Fonte: ArcMap®

APÊNDICE J – ANÁLISES SUPLEMENTARES

J.1. A restrição de quilómetros percorridos no planeamento dos giros

Através da camada VRP da extensão do *Network Analyst* em *ArcMap*®, é possível gerar rotas com base na restrição do número de quilómetros. Para testar esta possibilidade, foi utilizado o exemplo de Arouca, pois é o PTer com maior número de *hotspots* recolhidos para esta investigação. Neste sentido, após registo e representação de todos os pontos (67 pontos de destino e respetivo PTer)²¹⁴, foi criada uma rota, aplicando restrição nos seguintes atributos: *MaxOrderCount* – 67 e *MaxTotalDistance* – 20. Posto isto, o algoritmo gerou uma rota de, aproximadamente, 18,52 quilómetros (km), cobrindo 44 dos 67 pontos (Figura n.º 45).

De ressaltar que esta opção pode ser planeada com outras restrições, nomeadamente, restrições de vias de acesso e janelas de tempo e alterações manuais do “peso” atribuído a cada ponto e da sequência da rota.

A complementaridade das opções usadas permite uma maior robustez à solução, prevenindo a previsibilidade, gerando maior aleatoriedade aos percursos e uma maior aproximação à realidade.

²¹⁴ Através do *Microsoft Office Excel*, foi criada uma tabela contemplando as coordenadas XY de cada ponto e salvo em formato (.csv). Após importar para *ArcMap*® e a partir deste ficheiro, foi gerada uma *shapefile*, contendo os atributos necessários à representação espacial de cada ponto no grafo.

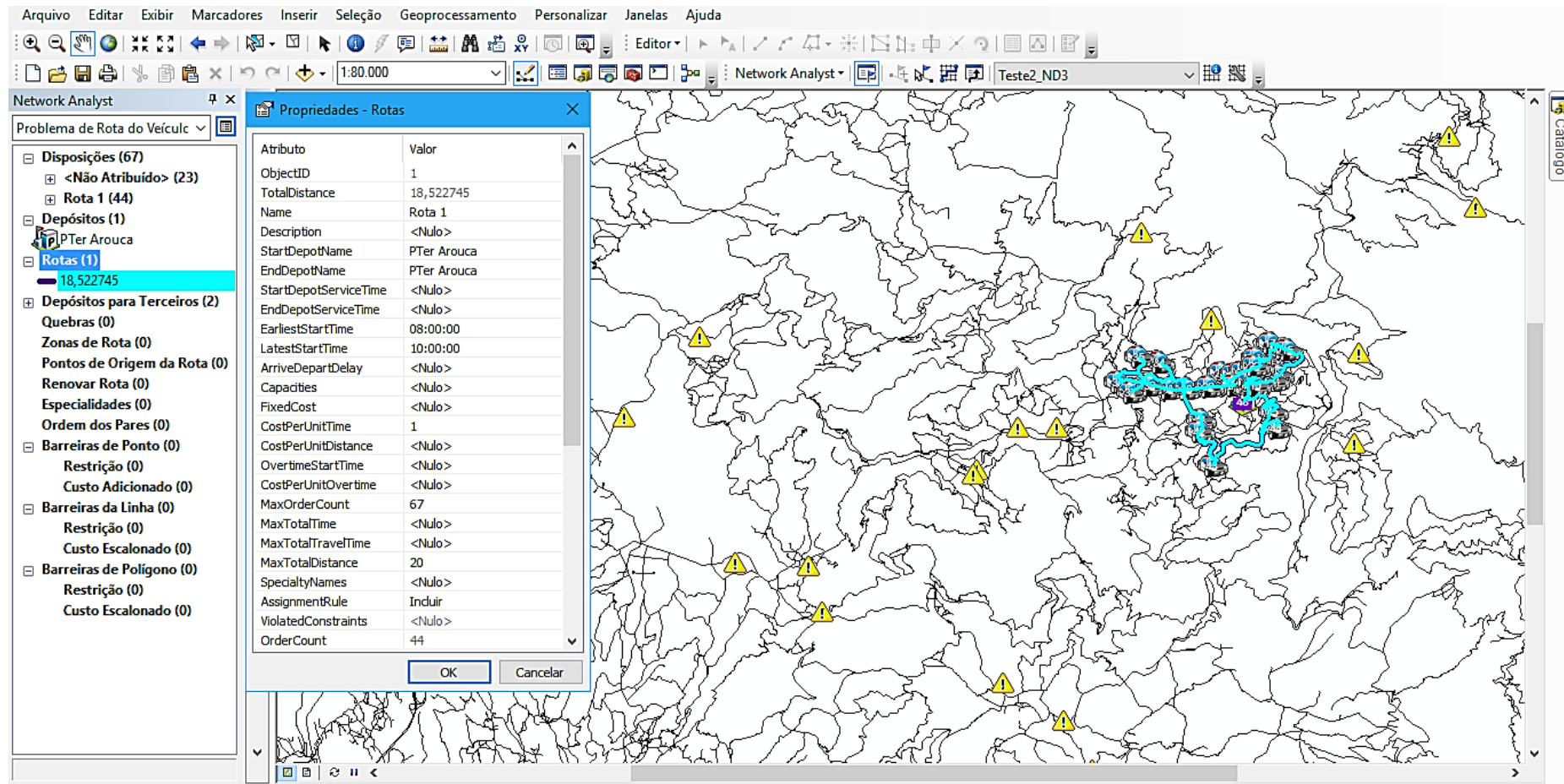


Figura n.º 45 – Solução gerada após restrição de quilómetros

Fonte: ArcMap®

J.2. Diagrama de Voronoi aplicado à área de responsabilidade do Destacamento Territorial de Oliveira de Azeméis

J.2.1. Diagrama de Voronoi

Um diagrama de Voronoi é “uma decomposição de um espaço métrico, definido por uma função distância e por um conjunto de locais” (Dinis, 2013, p. 11).²¹⁵ O exemplo mais comum e mais simples é o diagrama de Voronoi planar definido por “um conjunto de pontos no plano e pela distância euclidiana” (Dinis, 2013, p. 11). Compõe “uma subdivisão do plano num conjunto de regiões poligonais, em que cada região está associada a um ponto.” (Dinis, 2013, p. 11). Especificamente, “cada região é formada pelo lugar dos pontos do plano que estão mais próximos do local que a gera do que de qualquer outro local.” (Dinis, 2013, p. 11). Consiste numa ferramenta que permite apreender relações de influência, de proximidade, de predomínio e responder a algumas questões práticas, como por exemplo: qual o local mais próximo de um determinado ponto? Qual a maior região desocupa/ocupada? Qual a melhor localização para edificar ou retirar determinado PTer?

O diagrama de Voronoi incorpora uma forma de topologia “automatizada” que, usada como uma estrutura de dados básica em SIG, constitui uma ferramenta apropriada para os problemas no domínio da Geomática e a estrutura básica para a correção e eficiência algorítmica (Gold, Remmele, & Roos, 1997).

J.2.2. Aplicabilidade

Através da Carta Administrativa de Portugal – versão 2016, foi possível retirar a área de interesse e seleccionar as freguesias e uniões de freguesia afetas a cada PTer. De um ponto de vista geral, verifica-se que as áreas de responsabilidade estão atribuídas a cada PTer de acordo com o sugerido pelo diagrama de Voronoi (Figura n.º 46).

²¹⁵ Objeto geométrico compacto, que pode assumir várias formas. Exemplo: ponto, segmento de reta, círculo, polígono fechado, entre outros (Dinis, 2013).

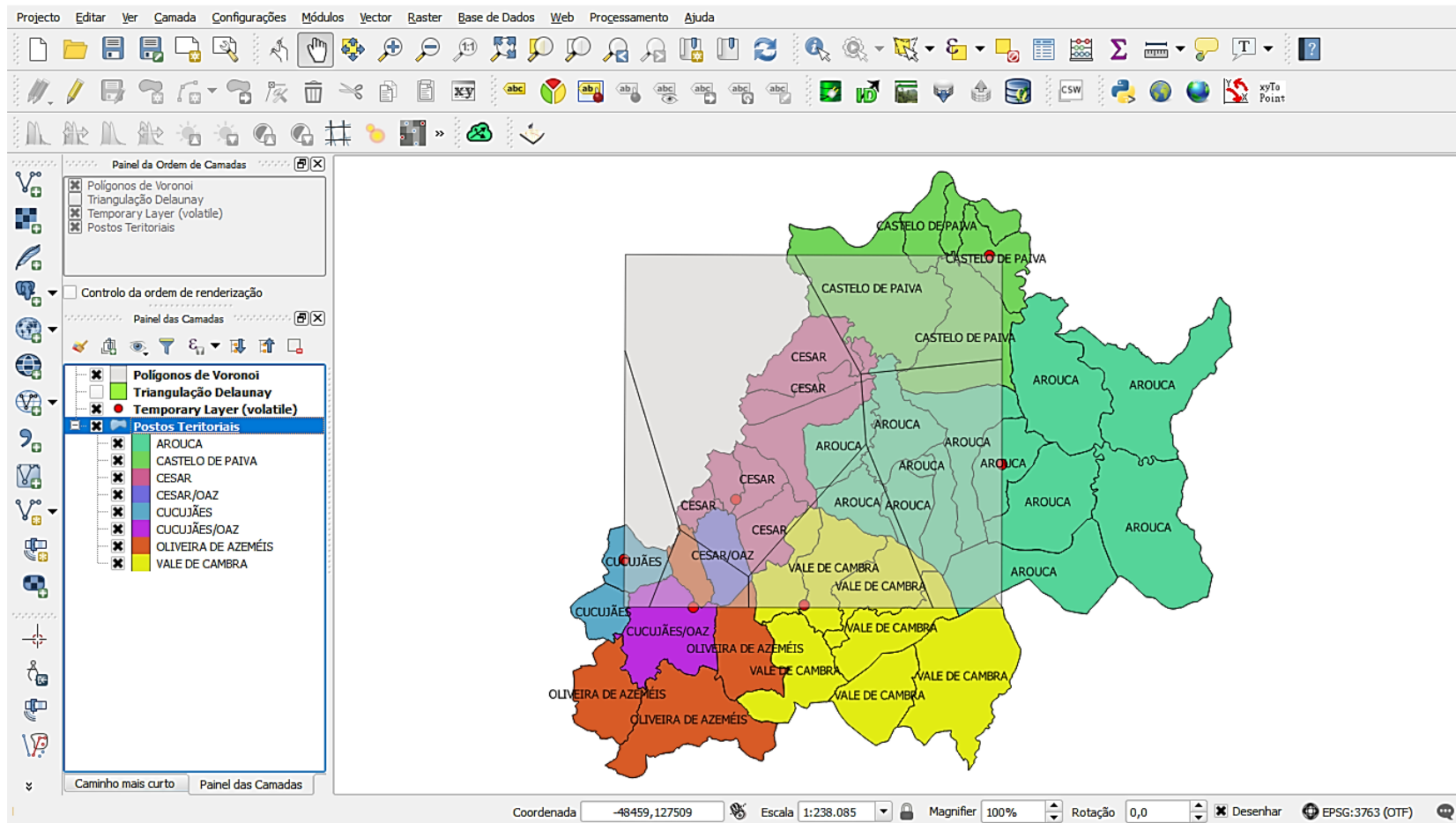


Figura n.º 46 – Diagrama de Voronoi aplicado à área de responsabilidade do DTer de OAz

Fonte: *QuantumGis*

J.3. Localização de *hotspots*

Através da otimização de rotas é possível perceber quais os pontos mais distantes de cada PTER e, no caso do patrulhamento e cobertura de pontos em simultâneo, quais os que potencialmente seriam cobertos por outros PTER.

A partir do *LORE*[©] e da camada VRP, é possível responder à seguinte questão: de acordo com a localização dos *hotspots*, a atual área de responsabilidade de cada PTER está repartida de forma correta?

Salienta-se o facto de que no *LORE*[©], tanto o processamento do algoritmo como a representação no grafo, têm em conta distâncias euclidianas, enquanto que o *ArcMap*[®] se baseia em distâncias reais.

J.3.1. *LORE*[©]

No *LORE*[©] foram executadas duas análises com o intuito de oferecer maior liberdade de execução ao algoritmo, permitindo uma melhor interpretação.

J.3.1.1. Postos Territoriais instalados

Através da introdução dos 252 pontos, respetivos PTER e, ainda, de seis viaturas, representaram-se no grafo os dados necessários para iniciar o teste. De salientar que foi atribuído o “peso” de 1 a cada ponto de destino e, a cada PTER e viatura, uma capacidade igual ao valor de pontos críticos reconhecidos previamente em cada PTER. Deste modo, o algoritmo²¹⁶ iniciará a resolução estabelecendo por si a origem de cada viatura face à capacidade apresentada nos PTER e nas viaturas. Assim, conforme a Figura n.º 47 e a tabela n.º 15, verifica-se que oito pontos da área do PTER de Cucujães são cobertos pelo PTER de OAZ.

Por sua vez e, ainda, que em menor número, existem pontos da área de OAZ (5) que estão cobertos pelo PTER de Cucujães. De facto, além das suas respetivas áreas fazerem fronteira, Cucujães apresenta poucos pontos comparativamente com OAZ. A cobertura dos restantes pontos não oferece relevância de análise.

²¹⁶ Algoritmo *Greedy randomized adaptative search*.

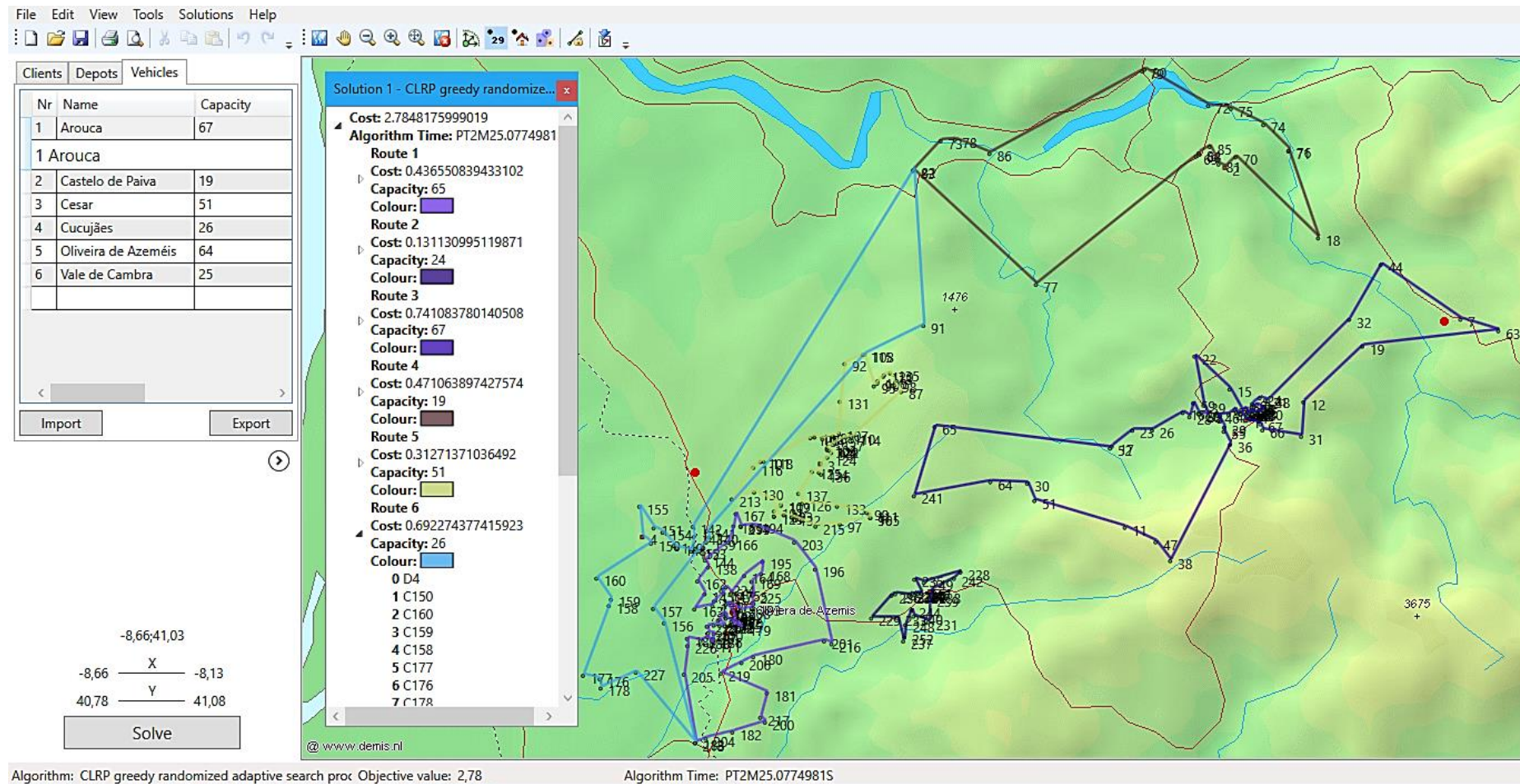


Figura n.º 47 – Solução 1 gerada em LORE® (252 pontos)

Fonte: LORE®

Tabela n.º 15 – Cobertura de *hotspots* em LORE®

	Pontos cobertos por (PTer):					
	Arouca	Castelo de Paiva	Cesar	Cucujães	OAz	Vale de Cambra
Origem dos pontos (PTer)	Arouca	-	18	-	-	-
	Castelo de Paiva	-	-	82	-	-
	Cesar	-	-	91;108	-	-
	Cucujães	-	-	-	138;144;145; 146;147;161; 162;163	-
	OAz	-	-	176;177; 178; 218; 227	-	-
	Vale de Cambra	241	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria

J.3.1.2. Postos Territoriais não instalados

Semelhantemente à situação anterior, introduziram-se os 252 pontos, respetivos PTers (não instalados) e seis viaturas. De referir que foi atribuído o “peso” de 1 a cada ponto de destino, a cada PTer uma capacidade de 300 e custo fixo de 5000, e, a cada viatura, uma capacidade de 50. Deste modo, o algoritmo²¹⁷ iniciará a resolução estabelecendo por si a origem de cada viatura face à capacidade apresentada nos PTers e nas viaturas. Assim, conforme a Figura n.º 48, verifica-se que apenas os PTers de Arouca e de OAz dão cobertura aos 252 pontos.

Apesar de se estabelecer o mesmo custo fixo para todos os PTers e aleatoriedade na escolha do ponto de partida para todas as viaturas, os PTers de Cesar, Cucujães, Vale de Cambra e de Castelo de Paiva encontram-se excluídos das rotas geradas. Em contrapartida, Arouca cobre todos os pontos de Castelo de Paiva englobando duas rotas (40 e 42 pontos) e OAz cobre os pontos de Cesar, Vale de Cambra e Cucujães com quatro rotas (33, 41, 46 e 50 pontos).

²¹⁷ Algoritmo *Greedy randomized adaptative search*.

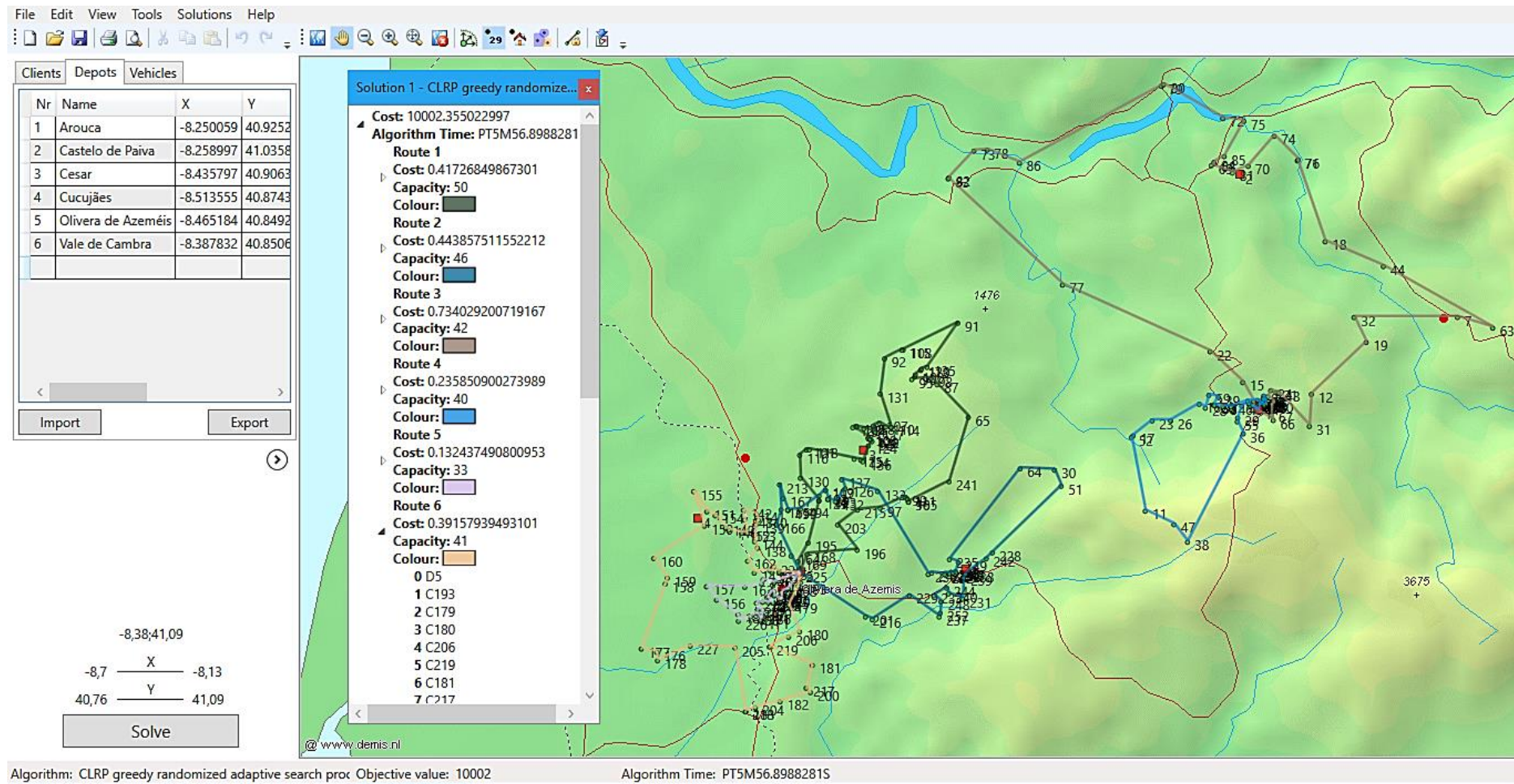


Figura n.º 48 – Solução 2 gerada em LORE® (252 pontos)

Fonte: LORE®

J.3.2. ArcMap®

Utilizando a rede gerada (Teste_ND) e, após colocação e representação dos 252 pontos críticos no grafo e de cada PTER²¹⁸, iniciou-se o teste. Assim, incluíram-se seis viaturas (correspondentes ao mesmo número de PTER), em que cada uma inicia o percurso em cada PTER. De seguida, em cada viatura, restringiu-se um número máximo de pontos a visitar, correspondente ao mesmo número de pontos críticos identificados em cada PTER. Deste modo, o algoritmo procurará os pontos mais próximos de cada PTER.

De acordo com a Figura n.º 49 e a Tabela n.º 16, observa-se que a “troca” de três pontos existentes entre Arouca e Cesar deve-se ao facto de: os mesmos se localizarem nas fronteiras das respetivas áreas; na zona da rota gerada para o PTER de Cesar existirem poucas vias de acesso; e, como área do PTER de Cesar contempla grandes quantidades de pontos a norte da sua localização, o algoritmo optou por percorrer essa zona, cobrindo os pontos de Arouca (o mesmo aconteceu para o PTER de Arouca a sul da sua posição). Os pontos da área do PTER de Cucujães cobertos pelo PTER de OAz e vice-versa apresentam a mesma razão exibida no *LORE*®. No caso de Cesar, pode-se referir que existem uniões de freguesia partilhadas com OAz, o que potencia a cobertura por este PTER. Os demais casos de cobertura não apresentam significado relevante.

²¹⁸ Através do *Microsoft Office Excel*, foi criada uma tabela contemplando as coordenadas XY de cada ponto e salvo em formato (.csv). Após importar para *ArcMap*® e a partir deste ficheiro, foi gerada uma *shapefile*, contendo os atributos necessários à representação espacial de cada ponto no grafo.

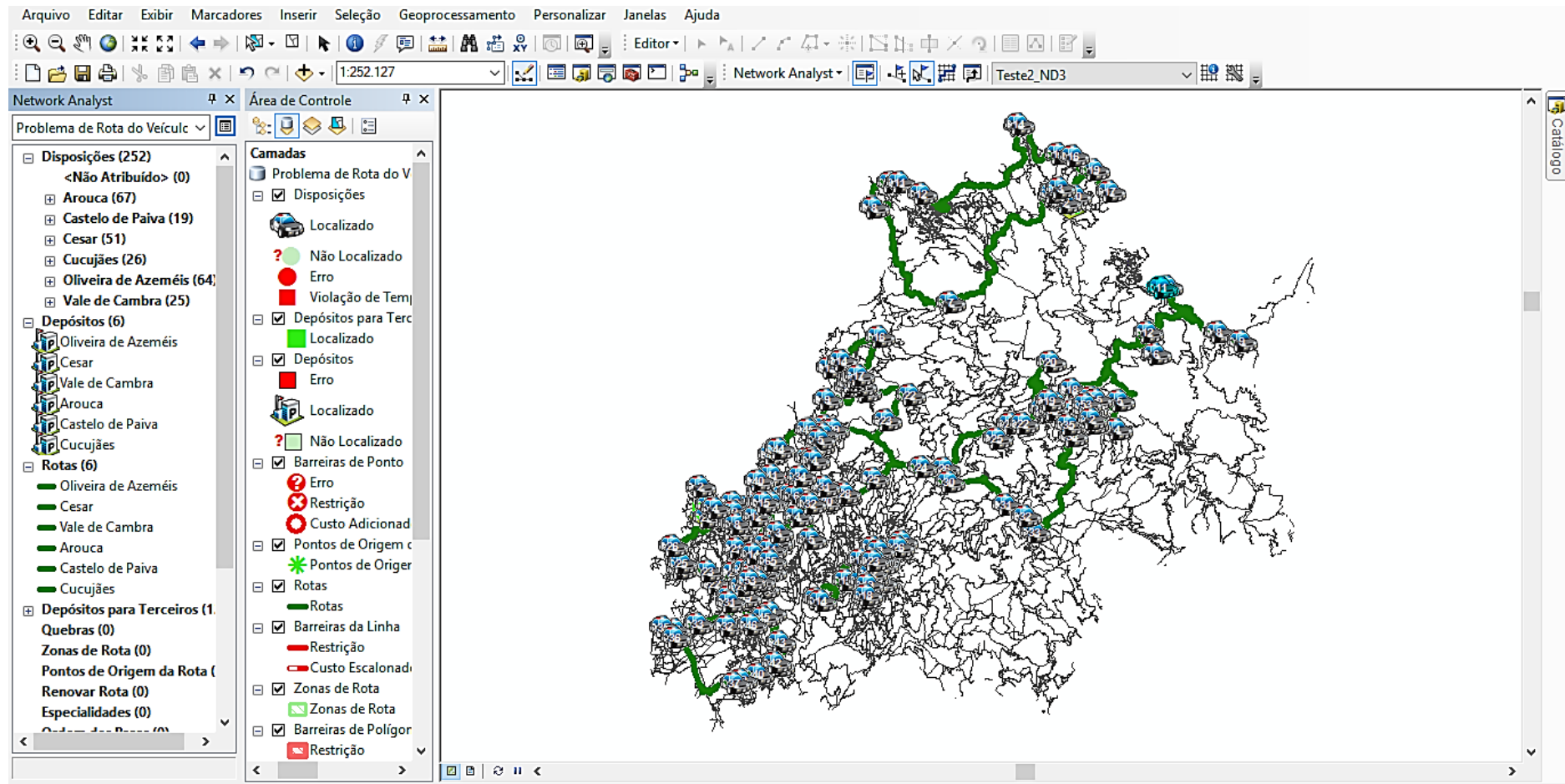


Figura n.º 49 – Solução gerada em ArcMap® (252 pontos)

Fonte: ArcMap®

Tabela n.º 16 – Cobertura de *hotspots* em ArcMap®

	Pontos cobertos por (PTer):					
	Arouca	Castelo de Paiva	Cesar	Cucujães	OAz	Vale de Cambra
Origem dos pontos (PTer)	Arouca	-	-	54;64;65	-	-
	Castelo de Paiva	-	-	-	-	-
	Cesar	107;110;114	-	-	89;119;123;132	-
	Cucujães	-	-	-	145;146;147;161;163	-
	OAz	-	-	167;213;215	165;166;194;199;214	201;216
	Vale de Cambra	-	-	241	238	-

Fonte: Elaboração própria

J.3.3. Conclusão

De uma forma breve, pode-se referir que a área de responsabilidade do PTer de OAz comporta grande quantidade de vias de acesso e grande volume de *hotspots* num espaço muito concentrado. Por este motivo, existe uma cobertura considerável de pontos nas fronteiras com as áreas dos PTer de Cesar e de Cucujães. Os pontos que se encontram nas fronteiras das áreas de cada PTer são propícios a serem cobertos pelos PTer vizinhos.

Analisados os dois cenários e de acordo com a localização dos *hotspots*, no geral, a atual área de responsabilidade de cada PTer está repartida de forma correta. Não existe uma enorme significância, pois estão representados no total 252 pontos. Contudo, não invalida uma nova reavaliação das pequenas uniões de freguesia que comportam os pontos limítrofes às fronteiras de Cesar e OAz (Nogueira do Cravo e Pindelo) e deste com Cucujães (Santiago de Riba-Ul, Ul, Macinhata da Seixa e Madail).

ANEXOS

ANEXO A – MÉTODOS DE SOLUÇÃO DE VRP

Tabela n.º 17 – Métodos de solução de VRP

Método de Solução	Algoritmos	Autores
Métodos Exatos	<i>Branch and Bound</i>	Laporte, Nobert, & Taillefer (1987) Gilbert Laporte, Mercure, & Nobert (1992) Fisher (1994) Fischetti, Toth, & Vigo (1994) Ladányi, Ralphs, & Trotter (2001) Zhang, Qin, Zhu, & Lim (2012)
	<i>Branch and Cut</i>	Blasum (2002) Ralphs, Kopman, Pulleyblank, & Trotter (2003) Lysgaard, Letchford, & Eglese (2004) Fukasawa, R., Lysgaard, J., Aragão, M. P, Reis, M., Uchoa, E., & Werneck (2005) Jepsen, Spoorendonk, & Ropke (2012) Rodríguez-Martín, Salazar-González, & Yaman (2014) Gauvin, Desaulniers, & Gendreau (2014)
Heurísticas	<i>CW</i>	Clarke & Wright (1964) Yellow (1970) Paessens (1988) Lysgaard (1997) Altinel & Öncan (2005) Roque & Junior (2006) Pichpibul & Kawtummachai (2012, 2013) Caceres-Cruz, Grasas, Ramalhinho, Juan, & Roca (2014) Heinen (n.d.)
	<i>Fisher and Jaikumar</i>	Fisher & Jaikumar (1981) C. C. R. Tan & Beasley (1984)
	<i>Matching Based</i>	Desrochers & Verhoog (1989) Altinkemer & Gavish (1991)
	<i>Multi-Route Improvement</i>	Thompson & Psaraftis (1993) Breedam (1994) Kindervater & Martin W.P. Salvesbergh (1997) Nehme, Works, Lei, Rundensteiner, & Bertino (2013)
	<i>Sweep</i>	A Wren & Carr (1971) Anthony Wren & Holliday (1972) Gillett & Miller (1974) Renaud & Boctor (2002)
	<i>Petal</i>	Ryan, Hjorring, & Glover (1993)
	<i>Taillard</i>	Volgenant & Jonker (1983) Osman (1993) Taillard (1993)

Metaheurísticas	<i>Ant System</i>	Dorigo & M. (1992) Bullnheimer, Hartl, & Strauss (1999a) Bullnheimer, Hartl, & Strauss (1999b) Gambardella, Taillard, & Agazzi (1999) Doerner & Hartl (2001) Reimann, Doerner, & Hartl (2003) Yan Tian, Jingyan Song, Danya Yao, & Jianming Hu (2003) Reimann, Doerner, & Hartl (2004)
	<i>Constraint Programming</i>	Shaw (1998) Rousseau, Gendreau, Pesant, & Focacci (2004)
	<i>Simulated Annealing</i>	Arbelaitz, Rodriguez, & Zamakola (2001) Z.J. Czech & Czarnas (2002) Zbigniew J. Czech, Czech, & Czarnas (2002)
	<i>Deterministic Annealing</i>	G. Dueck & Scheurer (1990) Gunter Dueck (1993)
	<i>Genetic Algorithms</i>	Goldberg (1989) S. Thangiah (1993) Jih & Hsu (1999) K. C. Tan, Lee, Ou, & Lee (2001) Pereira, Tavares, Machado, & Costa (2002) P. Machado, Machado, Tavares, Pereira, & Costa (2002) Prins (2004) Jaszkiewicz & Kominek (2003) J. Tavares, Tavares, Pereira, Machado, & Costa (2003) J. Tavares, Machado, Pereira, & Costa (2003) K Q Zhu (2003) J Berger & Barkaoui (2003) Alba & Dorronsoro (2004) Jean Berger & Barkaoui (2004) Kenny Q Zhu & Liu (2004) Braysy & Gendreau (2005) Alba & Dorronsoro (2006) S.R. Thangiah, Nygard, & Juell (n.d.) Morgan & Mumford (n.d.) Andrew Lim & Fan Wang (n.d.)
	<i>Tabu Search</i>	Glover (1986) Sam R. Thangiah, Thangiah, Osman, & Sun (1993) Rochat & Taillard (1995) Xu & Kelly (1996) É. Taillard, Badeau, Gendreau, Guertin, & Potvin (1997) Badeau, Guertin, Gendreau, Potvin, & Taillard (1997) Homberger et al. (1999) Amberg, Domschke, & Voß (2000) Cordeau, Laporte, & Mercier (2001) Bräysy & Gendreau (2002) Toth & Vigo (2003)

Fonte: Adaptado de NEO (2013)